

# 大型污水处理厂采用 MBR 工艺不停产扩能提标改造

李 亮<sup>1</sup>, 汪德金<sup>1</sup>, 杨 雪<sup>2</sup>, 徐 婧<sup>2</sup>

(1. 中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081; 2. 成都市排水有限责任公司, 四川 成都 610039)

**摘 要:** 成都市第三污水处理厂原设计规模和出水水质标准均已不满足城市污水处理和再生水回用的要求,在现状污水厂无法新增用地且不宜停产改造的条件下,采用以 MBR 为主体的工艺路线,充分利用原有的构(建)筑物进行扩能和提标改造,即增加预处理系统及污泥处理系统,将原二沉池改造为 MBR 膜池,将原改良 A<sup>2</sup>/O 生化池改造为与 MBR 工艺相适应的新生化池,增加相应的配套设备间。项目工程直接投资约 2.8 亿元,改造后处理规模由  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  增至  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,出水水质提高至类地表水 IV 类标准,其中 COD 均值低于 15 mg/L,总氮均值低于 10 mg/L,总磷均值低于 0.2 mg/L。改造工程分阶段实施,成功实现不停水施工。

**关键词:** 提标改造; MBR; 不停水施工

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)14-0052-07

## Practice of Reconstruction without Shutdown with MBR for Capacity Expansion and Standard Upgrading in Large-scale Sewage Treatment Plant

LI Liang<sup>1</sup>, WANG De-jin<sup>1</sup>, YANG Xue<sup>2</sup>, XU Jing<sup>2</sup>

(1. Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610081, China;  
2. Chengdu Drainage Co. Ltd., Chengdu 610039, China)

**Abstract:** The original design capacity and effluent quality of Chengdu No. 3 sewage treatment plant could not meet the requirements of urban sewage treatment and reclaimed water reuse. Under the condition that no additional land was available and the existing sewage treatment plant could not be shutdown during reconstruction, the MBR was adopted as the main process. The existing facilities were taken full use to carry out expansion and upgrading reconstruction, including adding pretreatment system and sludge treatment system, transforming the existing secondary sedimentation tank into MBR tank, transforming the original biochemical tank into a new biochemical tank suitable for MBR process, and adding the corresponding matching equipment. The direct investment of the project was about 280 million yuan. The capacity had been doubled from  $100\,000 \text{ m}^3/\text{d}$  to  $200\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ . The effluent quality had been improved to the approximate class IV of standard for surface water. The average COD was below 15 mg/L, the average TN was below 10 mg/L, and the average TP was below 0.2 mg/L. The reconstruction project was carried out in stages, and the non-shutdown reconstruction was successfully realized.

**Key words:** upgrading and reconstruction; MBR; non-shutdown reconstruction

### 1 工程背景

成都市第三污水处理厂位于市区南部,与其他几座污水处理厂共同服务于中心城区,规划一期规

模(2005年)为  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,远期规模为  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。一期工程于 2004 年建设完成投入运行,设计出水标准为《城镇污水处理厂污染物排放标准》

(GB 18918—2002)的一级 B 标准。为切实保护锦江水质,加强再生水回用,通过对未来中心城区污水排放增量进行预判和分析,2014 年市政府提出中心城区各排水分区污水处理厂扩能或新建方案。其中第三污水处理厂鉴于用地条件及其在城市管网中所处位置,要求在不新增用地的情况下完成处理能力倍增扩建、出水水质标准提升,改造期间能够正常不停产生产运行。根据市环保局的要求,提标后出水水质:在 GB 18918—2002 一级 A 的基础上,主要指标 COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、总磷达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅳ类标准。

## 2 原厂概况

原第三污水处理厂一期工程占地约 5.53 hm<sup>2</sup>,污水处理工艺流程为曝气沉砂池 + 改良 A<sup>2</sup>/O + 沉淀池 + 紫外消毒。污泥处理工艺为转筛浓缩 + 离心脱水至 20% 含水率外运处置。污水处理厂平面布置见图 1。

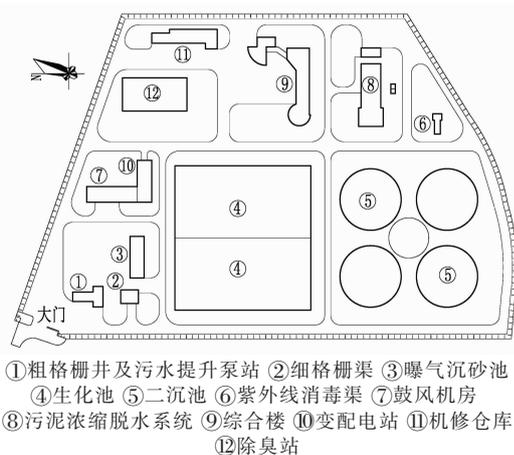


图 1 污水处理厂改造前平面布置

Fig. 1 WWTP plane before reconstruction

一期工程各构筑物均按  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模设计。粗格栅渠采用移动式粗格栅,栅条间隙为 25 mm;细格栅为回转式,栅条间隙为 5 mm;沉砂采用曝气沉砂池,设计 HRT 为 3.5 min;生化池为改良 A<sup>2</sup>/O,设计 HRT 为 11.0 h,其中厌氧区 1.50 h、缺氧区 1.50 h、好氧区 8.00 h,设计气水比为 5.59 : 1,最大内外回流比均为 100%;二沉池 4 座,直径为 40 m,池型为周边进水、周边出水圆形辐流式沉淀池,设计表面负荷为  $1.20 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;鼓风机房采用 4 台(3 用 1 备)单级高速离心风机,供气量为  $392 \text{ Nm}^3/\text{min}$ ;污泥浓缩脱水系统采用转筛浓缩 + 离心

脱水,污泥浓缩机 2 套,污泥离心脱水机 2 套,均为 2 用,设计干污泥量为  $14 \text{ tDS}/\text{d}$ 。

一期工程运行 10 余年来,各项指标均能稳定达到设计标准,但因城市发展迅速,来水水量逐年增多,改造前的 2014 年全年平均处理水量已达  $10.47 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,亟需扩能提标建设。

## 3 工程难点

本工程的第一个难点是不新增建设用地与扩能的矛盾,无预留用地;第二个难点是提标改造工程建设与正常生产运行的矛盾。为改善锦江水质以及创造再生水回用条件,在四川省地方标准《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)颁布实施以前,将本工程出水水质由原设计的一级 B 标准提升至类地表水Ⅳ类标准,必然需要对原有生产构筑物进行较大幅度的升级改造,建设周期较长。若停工施工必然对接纳水体产生较大冲击,因此要求不停产或者极短时停产。

上述两个难点相互叠加,对工艺选择、构筑物设计、建设实施方案均提出极高要求。

## 4 改造工艺确定

### 4.1 水质

第三污水处理厂已运行 10 年以上,有较翔实的水质基础数据,根据 2012 年—2014 年进水水质判断,来水属于典型的城市生活污水范畴,本项目设计进、出水水质见表 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

项目	mg · L <sup>-1</sup>					
	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	TN	NH <sub>3</sub> - N	TP
进水	200	400	240	50	40	4.5
出水	6	30	10	15	1.5	0.3

### 4.2 工艺流程

本工程工艺流程选取主要有如下边界条件:

① 从水质分析及变化趋势判断,来水将来亦属于典型的城市生活污水。

② 原工艺主流程为改良 A<sup>2</sup>/O + 圆形沉淀池,运行效果良好,原主体构筑物池体的利用程度是重点<sup>[1-2]</sup>。

③ 改造要求为提标扩能,其中扩能为倍增扩能。

④ 红线内用地 5.53 hm<sup>2</sup>,基本均匀布置一期构筑物,红线外无可新增用地。

⑤ 处在排水分区末端,无法实现全部调水,因此环保要求不停产改造。

上述因素集合起来,现实条件是主流程构筑物不可以大拆大建,新建构(建)筑物场地有限,多为小块分散的间隙地,需要选择一种流程较短、容积负荷率高、污泥浓度高的改造工艺,因此在方案征集和多次研讨论证后,选择了 MP-MBR(多相膜生物反应器)工艺。

MBR 利用膜的高效截留作用,可使微生物完全截留在生物反应器内,实现较高的污泥浓度,实现高容积负荷、低污泥负荷;在较小水力停留时间(HRT)的情况下保证更高的污泥龄(SRT),为氮污染物的降解创造了有利条件<sup>[3]</sup>。

### 4.3 改造方案

污水厂的总体工艺系统主要包括预处理系统、生化及膜处理系统和污泥处理系统。

#### ① 预处理系统

利用一期预处理系统和扩建预处理系统并联运行,并新增膜格栅渠、中间提升泵房等适合 MBR 污水处理工艺的预处理设施。

#### ② 生化及膜处理系统

将原 A<sup>2</sup>/O 生化池和二沉池改造为生化及膜处理系统,改造后的生化池仍具有除磷脱氮功能,并与 MBR 污水处理工艺相适应;改造原二沉池为膜池,并增加膜池配套设备间;改造和增设生化及膜处理系统所需要的鼓风机房。

#### ③ 污泥处理系统

利用以前的污泥处理系统,并扩建新的污泥处

理系统,并联运行。

### 4.4 生化池改造

生化池主要做以下改造:

① 改造进出水管、出水堰及部分孔洞,满足规模倍增的水力要求。

② 将原预脱硝池变为厌氧池,原来厌氧池和缺氧池功能不变,为了提高脱氮效果,需要增加缺氧池的容积,现将生化池的好氧区一部分即好氧区的前三个廊道改造成缺氧池,增设潜水搅拌机及潜水推流器。

③ 重新设计从 MP-MBR 膜池回流到生化池好氧区前段的外回流;从生化池好氧池末端回流至缺氧池前段的内回流;以及从生化池缺氧池末端回流至厌氧池前段的内回流。相应增加水下推流器和回流泵。

④ 由于现状进水水质在部分时段存在碳源不足的现象,故需要补充碳源,选择乙酸钠作为补充碳源,投加点分别设置于厌氧区和缺氧区。

### 4.5 膜池改造

为了充分利用原有构筑物容积,在改造原有的 4 座圆形沉淀池为膜池时,每座膜池又分为好氧区、膜处理区和污泥回流区;原沉淀池池壁及底板保留,拆除中心柱、配水渠等内部结构;新增膜池及膜组件、污泥回流渠、好氧区曝气管、除臭膜盖及玻璃钢轻型盖板、除臭管道、膜池起重设备柱网架;新建与其配套的膜设备间,主要包括产水泵、反洗泵、剩余污泥泵、空压机、吹扫风机等。

通过上述改造,新工艺流程见图 2。

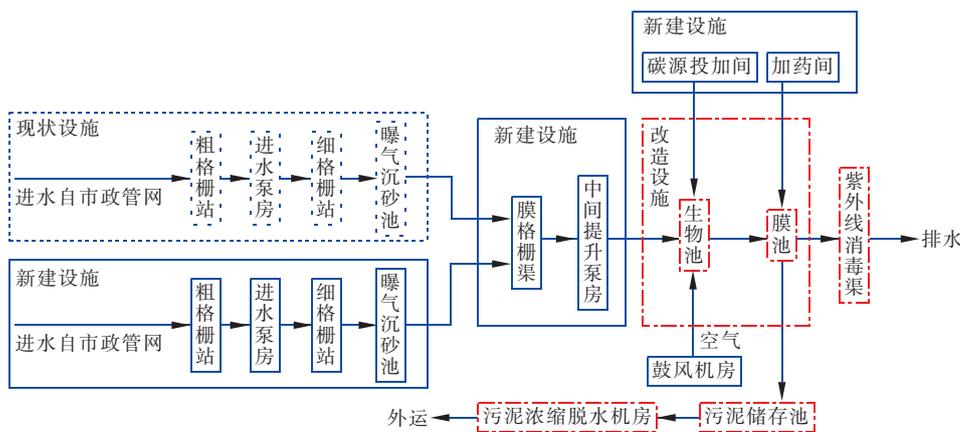


图 2 扩能提标改造工艺流程

Fig. 2 Flow chart of expansion and upgrading project

因场地限制,新增构建筑物只能见缝插针布置 或拆除部分不造成停产的构筑物,形成如图 3 所示

的改造后平面布置。

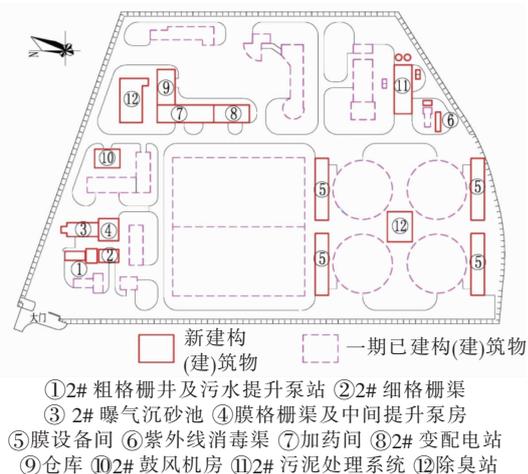


图3 扩能提标改造工程平面布置

Fig. 3 Plane layout of expansion and upgrading project

## 5 主要建(构)筑物设计

### ① 2#粗格栅及污水提升泵房

新建2#粗格栅及污水提升泵房,设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,粗格栅分2格,采用移动抓斗式粗格栅除污机,栅间隙为25 mm。污水泵房分为两格,潜污泵5台(4用1冷备),泵房采用单管出流。

### ② 2#细格栅渠

新建2#细格栅渠,设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。细格栅渠分3格,采用内径流孔板格栅,栅间隙为5 mm。

### ③ 2#曝气沉砂池

新建2#曝气沉砂池,设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,曝气沉砂池分两格,峰值停留时间为3 min,采用气提除油除砂桥及中孔曝气头。曝气沉砂池与膜格栅渠及中间提升泵房合建。

### ④ 膜格栅渠及中间提升泵房

新建膜格栅渠及中间提升泵房,设计规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,膜格栅渠共分6个渠道,采用内径流精细格栅,栅间隙为1 mm。中间提升泵房共分2格,为保证协调运行,中间提升泵的台数应与污水提升泵的使用台数基本一致。采用潜水轴流泵10台(8用2备)。

### ⑤ 生化池改造

一期已建1座 $A^2/O$ 生化池,尺寸为 $93.70 \text{ m} \times 89.0 \text{ m} \times 6.80 \text{ m}$ ,分2格。本次工程对该生化池进行内部改造,改造后的生化池设计规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。改造内容:降低生化池出水堰标高,改造出

水井及出水管,以满足 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模进出水要求;将原预脱硝池变为厌氧池,原来厌氧池和缺氧池功能不变,并将好氧池前面三个廊道也改造为缺氧池,并增加推进器;新增膜池至好氧区污泥回流的管道;新增好氧区至缺氧区的污泥回流泵及管道;新增缺氧区至厌氧区污泥回流泵及渠道;更换好氧池盘式曝气器为管式曝气器,并改造曝气风管;拆除已建的除臭收集风管、张拉膜盖,并新建除臭收集风管和张拉膜盖;拆除一期的内回流泵、外回流泵及配套设施;对部分墙体进行改动,例如缺氧池最后两个廊道改为混合流,需在原隔墙开洞;取消污泥培养管。

改造后池型依然采用 $A^2/O$ 工艺,共分为3区。水力停留时间为7.787 h,其中厌氧区0.787 h、缺氧区2.95 h、好氧区4.05 h(含膜池好氧区和膜区)。设计混合液悬浮固体浓度:厌氧区4.8 g/L、缺氧区6.4 g/L、好氧区8 g/L。同时更换池内原有搅拌器和推流器、管式微孔曝气器。运行回流比参考表2数值。

表2 不同水温下回流比

Tab. 2 Reflux ratio at different water temperatures

水温/ $^{\circ}\text{C}$	膜池至好氧池/%	好氧池至缺氧池/%	缺氧池至厌氧池/%
12	400	400	300
20	300	300	200

### ⑥ 膜池改造

一期已建的4座圆形沉淀池,池直径为 $\varnothing 40 \text{ m}$ ,池边水深为4.6 m,总高为5.1~5.9 m。4座沉淀池全部改造为4座膜池,每座处理水量为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。改造内容:沉淀池池壁及底板保留,拆除中心柱、配水渠等内部结构;新增膜池及膜组件、污泥回流渠、好氧区曝气管、除臭膜盖及玻璃钢轻型盖板、除臭管道、膜池起重设备柱网架。

为了充分利用原二沉池池容,每座膜池前段空闲区域设为好氧区,停留时间约1.12 h。中段为膜区,分6格,后段为污泥回流区,膜区及污泥回流区停留时间为0.87 h。膜池设计混合液悬浮固体浓度为10 mg/L。

采用中孔纤维膜,双层膜架以提高填充率,设计膜通量为 $14.2 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。膜运行时采用8 min过滤,1 min空气吹扫。

### ⑦ 膜池配套设备间

因场地原因,分散新建膜池配套设备间共4座,



## 6.2 第二阶段

第二阶段改造示意图 5。

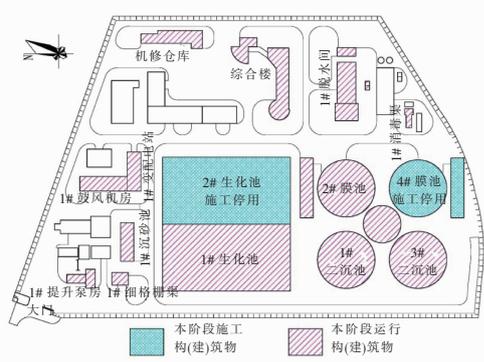


图 5 第二阶段改造示意

Fig. 5 Schematic diagram of the second stage reconstruction

第一阶段工作完成管线切改后,污水厂重新投入运行,处理水量仍保持在  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,由 1#生化池和 2#膜池、1#和 3#沉淀池分别组成 MBR 和活性污泥法混合工艺处理系统保持运行。同时改造 2#生化池并将 4#沉淀池改造为膜池,同时新建生化池至 2#、4#膜池的进水管。该阶段生化池好氧区污泥浓度逐步增加至  $6 \text{ g/L}$ 。

## 6.3 第三阶段

第三阶段改造示意图 6。

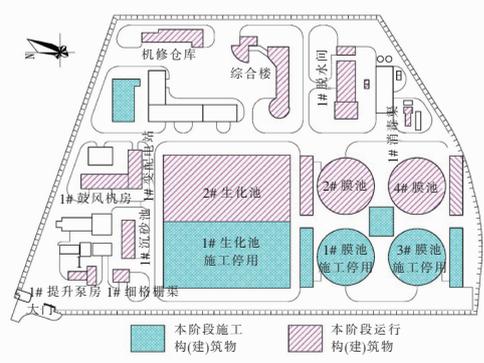


图 6 第三阶段改造示意

Fig. 6 Schematic diagram of the third stage reconstruction

第二阶段完成后,污水厂调整运行模式,处理水量仍保持在  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,由 2#生化池和 2#、4#膜池组成 MBR 工艺处理系统保持运行。此时,需同时改造 1#生化池并将 1#、3#沉淀池改造为膜池,同时新建 1#生化池至 1#、3#膜池的进水管,除臭设施等均在阶段完成。

该阶段完成后,进厂干管及厂内扩建部分与改建部分碰管,全厂全部采用 MBR 工艺投入运行,处

理规模达到  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

在本工程施工过程中根据现场的实际情况,对不停产施工方案又进行了细化,如:增加泵房至生化池的临时管道;膜格栅至生化池与已有管道的连接井调整;总进水管与已建管道连接井的调整等。在设计阶段确定的不停水实施方案通过施工期的具体细化和优化补充后切实可行,能保证污水厂建设的顺利完成。

## 7 改造效果

本项目在不新增用地、不停产的限定条件下,完成了污水处理厂规模倍增及出水标准提高的工程改造,其工程难度较大。通过各责任主体的精心管理、精心设计、精心施工,施工期间实现了不停产、不减产,不降低排放标准,成效显著,工程于 2016 年 7 月初通水运行。工程直接投资约 2.8 亿元。工程自竣工环保验收以来,一直稳定达到设计产能及出水水质标准,其全年进、出水水质平均值见表 3。

表 3 改造后进、出水水质

Tab. 3 Influent and effluent quality after reconstruction

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	TN	NH <sub>3</sub> -N	TP
进水	103.1	252.7	109.5	35.4	28.4	3.4
出水	2.3	14.3	5.0	8.4	0.3	0.1

扩能提标改造前年去除 COD 8 517 t、总氮 764 t、总磷 109 t;扩能提标改造后年去除 COD 17 400 t、总氮 1 969 t、总磷 240 t,因出水水质指标与感官均为优良,再生水回用得到有效促进,扩能提标改造环境效益及经济效益明显。

## 8 结语

① 在客观分析现状水质、已建构筑物现状、用地条件的基础上,成都市第三污水处理厂扩能提标工程扩建了预处理系统和污泥处理系统,将原有的 A<sup>2</sup>/O 生化池和二沉池改造成为生化及膜处理系统,实现了扩能提标的目标。

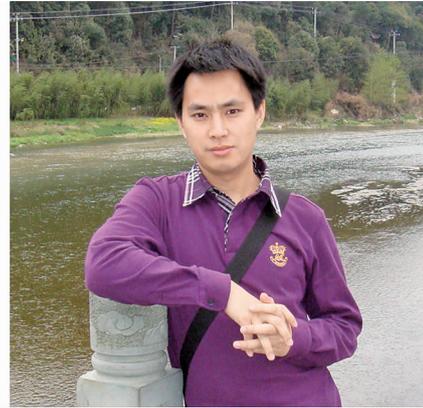
② 通过合理的建设阶段划分,污水处理厂分步改造,以及建设期的 A<sup>2</sup>/O 工艺和 MBR 工艺混合运行,成功实现了不停水施工。

③ 本工程改造难度虽大,MBR 工艺也带来更大的运行维护工作量,但改造效益十分明显,在建设用地  $5.53 \text{ hm}^2$ 、工程投资约 2.8 亿元条件下,建成  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模的出水达类地表水 IV 类标准的污水处理厂,投入产出比较高。

**参考文献:**

- [1] 刘杰,徐桂淋,阙添进,等. 罗芳污水处理厂 MBR 生化段提标改造方案分析[J]. 中国给水排水,2018,34(10):22-25.  
Liu Jie, Xu Guilin, Que Tianjin, *et al.* Analysis on upgrading and reconstruction scheme of MBR biological stage in Luofang wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(10): 22 - 25 (in Chinese).
- [2] 陈旭,赵云皓,逯元堂,等. 城镇污水处理设施建设与运行投资预测分析[J]. 中国给水排水,2014,30(2):31-33,40.  
Chen Xu, Zhao Yunhao, Lu Yuantang, *et al.* Investment prediction and analysis of construction and operation of urban sewage treatment facilities [J]. China Water & Wastewater,2014,30(2):31-33,40(in Chinese).
- [3] 李力. 多相组合膜生物反应器[P]. 中国专利:CN201010579,2008-01-23.

Li Li. Multiphase Membrane Bio-reactor [P]. Chinese Patent:CN201010579,2008-01-23(in Chinese).



**作者简介:**李亮(1977-),男,四川资中人,硕士,高级工程师,主要从事给水排水设计工作。

**E-mail:** yibao99@163.com

**收稿日期:**2019-03-09

(上接第51页)

动化管理系统为核心的自控仪表系统等辅助工程,并通过详细的分析计算,确定了主体及辅助工程设备配置,同时结合场地及周边条件,确定了转运站集约化的总体布局和流畅的物流组织方案,实现了垃圾中转站整体化、集约化、系统化和人性化的设计理念。

该工程的设计经验可供国内大型综合垃圾转运站借鉴。

**参考文献:**

- [1] 赵国志,熊建英,李丹,等. 中心城区垃圾转运站渗滤液处理技术探讨[J]. 给水排水,2015,41(7):38-41.  
Zhao Guozhi, Xiong Jianying, Li Dan, *et al.* Discussion on the treatment of leachate from refuse transfer station in center city[J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(7):38-41(in Chinese).
- [2] 邱云龙,耿震. 无锡大型生活垃圾转运站工程设计[J]. 中国给水排水,2010,26(14):81-83.  
Qiu Yunlong, Geng Zhen. Design of large domestic waste transfer station in Wuxi City [J]. China Water & Wastewater,2010,26(14):81-83(in Chinese).



**作者简介:**倪明(1985-),男,湖南衡阳人,硕士,工程师,上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司昆明分公司副经理(副院长),主要从事排水工程、固废处理设计、管理工作,曾获中国勘察设计协会市政公用工程一等奖、上海市勘察设计行业协会优秀工程设计一等奖、上海市工程咨询行业协会优秀工程咨询成果一等奖。

**E-mail:** niming@smedi.com

**收稿日期:**2019-03-11