

# MBR工艺在神定河污水处理厂升级改造中的应用

侯晓庆, 邓磊, 高海英, 曹明浩, 吴念鹏, 牛和昕  
(北京碧水源科技股份有限公司, 北京 102206)

**摘要:** 十堰神定河污水处理厂升级改造工程设计总规模为 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,其中一期工程仍沿用A/O+二沉池工艺,设计规模由原 $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 降负荷调整为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,出水水质需达到一级B排放标准;二期工程采用AAO+MBR工艺,设计规模由原 $11 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 扩容到 $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,出水水质执行一级A排放标准。两期工程的混合出水水质需达到一级A排放标准。投产运行后,出水水质优于设计标准。

**关键词:** 污水处理厂; 升级改造; AAO+MBR

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)22-0066-05

## Application of MBR Process in the Upgrading and Reconstruction Project of Shending River Wastewater Treatment Plant

HOU Xiao-qing, DENG Lei, GAO Hai-ying, CAO Ming-hao, WU Nian-peng,  
NIU He-xin

(Beijing OriginWater Technology Co. Ltd., Beijing 102206, China)

**Abstract:** The design treatment capacity of the upgrading and reconstruction project of Shending River Wastewater Treatment Plant was  $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . In the first-stage project, A/O + secondary sedimentation tank process was adopted and the treatment capacity was reduced from  $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  to  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . The effluent quality of the first-stage project was required to be better than the first class B discharge standard. The design capacity of second-stage project was increased from  $11 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  to  $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , and AAO + MBR process was adopted as the treatment technology. The effluent quality of the second-stage project should meet the first class A discharge standard. The mixed effluent of the two projects should reach the first class A discharge standard. In the period of operation, the effluent quality was proven to be better than design discharge standard.

**Key words:** wastewater treatment plant; upgrading and reconstruction; AAO+MBR

### 1 工程概况

#### 1.1 项目背景

丹江口水库是南水北调中线工程的核心水源区,国务院批复的《重点流域水污染防治规划(2011—2015年)》指出,丹江口库区及上游流域是“十二五”期间国家开展水污染防治的10个重点流域之一,丹江口库区及上游干流总体水质为优,劣V类水质断面主要集中在神定河、泗河等支流。到2015年,直接汇入丹江口水库的各主要支流水质不

低于Ⅲ类,入库河流全部达到水功能区目标要求。而神定河污水处理厂目前处理水量为 $(13 \sim 15) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,峰值水量为 $(15 \sim 18) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,且出水按一级B标准要求,对神定河和丹江口水库的水质影响很大,如果将神定河污水处理厂出水标准由一级B提高到一级A,每年可多削减COD 602 t、氨氮 181 t,切实保护南水北调中线核心水源地。

#### 1.2 污水厂简介

神定河污水处理厂始建于1999年,设计总规模

为  $16.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ;其中一期工程设计规模为  $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,主体采用 A/O + 二沉池工艺,设计出水水质为二级排放标准;二期工程设计规模为  $11 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,主体采用 AAO + MBR 工艺,设计出水水质为一级 A 标准,两部分混合后达到一级 B 标准。设计进、出水水质见表 1。

表 1 污水厂原设计进、出水水质

Tab. 1 Original design influent and effluent quality

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

| 项目 | COD | BOD <sub>5</sub> | SS  | TN | NH <sub>3</sub> - N | TP |
|----|-----|------------------|-----|----|---------------------|----|
| 进水 | 250 | 150              | 150 | 30 | 21                  | 3  |
| 出水 | 60  | 20               | 30  | 20 | 8(15)               | 1  |

改造前神定河污水处理厂处理水量为  $(13 \sim 15) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,一期出水量为  $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,二期出水量为  $(9 \sim 10) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。二期出水量未达到原设计规模的要求,原因主要在于二期的预处理运行情况较差,格栅对毛发、纤维等物质的截留率较低,曝气沉砂池未投入运行。毛发、纤维等物质进入膜池缠绕堵塞膜丝,膜系统受到污染,膜丝有效面积减少,因此膜系统出水量比设计值偏低;同时砂砾进入膜池,导致膜池产生淤积现象。

改造前神定河污水处理厂出水水质基本达到国标一级 A 标准,但 SS 和  $\text{NH}_3 - \text{N}$  超标(见表 2)。经分析,实际进水 SS、TN 以及  $\text{NH}_3 - \text{N}$  均超出设计标准,另外总出水为一、二期出水混合,一期工艺为 A/

O + 二沉池工艺,对  $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、SS 等去除率不高,导致混合出水难以达标,因此需对一期工程进行减负,以保证总出水水质合格。

表 2 改造前实际进、出水水质

Tab. 2 Actual influent and effluent quality before

reconstruction

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

| 项 目  | COD  | BOD <sub>5</sub> | SS   | TN   | NH <sub>3</sub> - N | TP   |
|------|------|------------------|------|------|---------------------|------|
| 实际进水 | 156  | 72               | 320  | 39.7 | 34.46               | 2.03 |
| 实际出水 | 21.4 | 9.0              | 13.0 | 12.6 | 5.56                | 0.46 |

此外,神定河污水处理厂来水为合流制污水,随着城区人口数量的增长,实际峰值来水量远超  $16.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  的设计规模,为解决污水溢流的问题,需扩容改造。

## 2 工程设计

### 2.1 改造目标

污水厂升级改造后总设计规模提升至  $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,总出水标准提升至一级 A 标准(见表 3)。

表 3 升级改造工程设计进、出水水质

Tab. 3 Design influent and effluent quality of upgrading project

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

| 项目 | COD | BOD <sub>5</sub> | SS  | TN | NH <sub>3</sub> - N | TP  |
|----|-----|------------------|-----|----|---------------------|-----|
| 进水 | 250 | 150              | 150 | 30 | 21                  | 3   |
| 出水 | 50  | 10               | 10  | 15 | 5(8)                | 0.5 |

### 2.2 改造思路

改造后工艺流程见图 1。

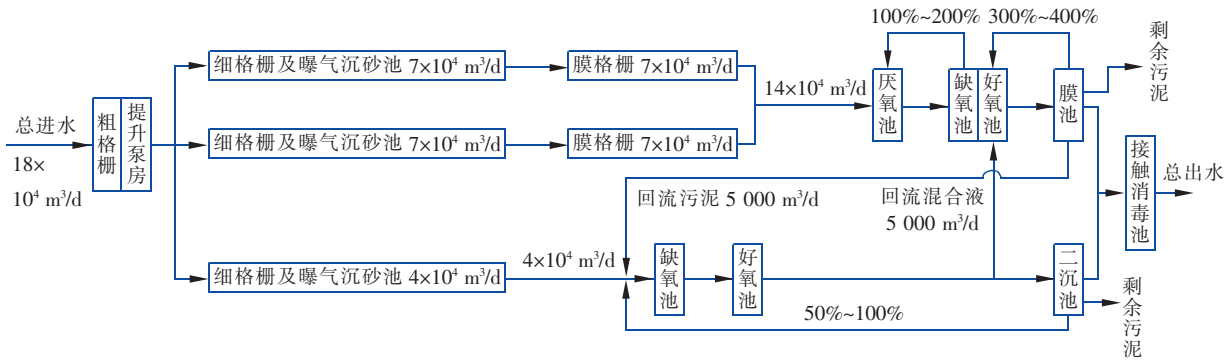


图 1 工艺流程

Fig. 1 Process flow diagram

为达到远期  $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  的处理规模,同时保证出水达到一级 A 标准,考虑到一期出水水质较差,氨氮、SS 较难达标,而二期 MBR 系统污泥浓度高,处理程度高,是出水达标和削减污染物的根本保障,且二期在更换及新增膜组器后抗负荷能力和产水能力均相应增加,因此整体思路为一期水量负荷

降至  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,可降低其污泥负荷,提高对氨氮等去除率,二期水量负荷增加至  $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,充分利用 MBR 系统的高效去除优势。

目前一期 A/O 系统出水为二级标准,为改善其出水水质,考虑到二期 MBR 系统的活性污泥硝化充分,污泥活性高,因此设置二期污泥回流至一期的生

化系统,可增加一期生化系统的污泥浓度,降低污泥负荷,增加对氨氮的去除率。而二沉池改造难度大,同时厂区没有空地再新建二沉池,因此一期 A/O 系统降负荷运行,即  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  (主要是指生化系统),为保证二沉池的出水水质,在好氧池末端将等量的混合液再提升回至二期 MBR 系统好氧段。

二期 AAO + MBR 系统,现状北侧二沉池废弃,将其改造为膜池,新增膜组器,将总产水能力提高至  $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。此外,通过两系统之间设置连通泵,可根据实际运行情况灵活调配两边系统的水量,充分发挥各工艺的长处,提高整个系统的抗负荷能力<sup>[1]</sup>。

## 2.3 工程设计

### 2.3.1 预处理区

预处理主要包括粗格栅渠及提升泵房、细格栅及曝气沉砂池、膜格栅渠。

#### ① 粗格栅渠及提升泵房

改造前粗格栅采用回转式格栅,共2个格栅渠。回转格栅两侧密封差,体积较大的漂浮物例如木板、纺织物、雨鞋等都能进入提升泵集水池,造成提升泵工况不稳定的情况;此外格栅上部出渣处,有栅渣翻转至集水池的现象。分析造成格栅运行差的主要原因是原设计栅前液位为1.8 m,实际运行栅前液位近4 m,超出了回转格栅的工作能力。

综上,此次改造采用密封性好、出渣方便的单轨悬挂抓爪式移动式格栅,格栅渠宽为2.16 m,栅条深度为4.5 m,栅前水深为4.1 m,池深为8.5 m,间隙为20 mm,抓斗梁高度为4.7 m,安装倾斜角为80°。增加了格栅的过水面积后,单台格栅过水能力提高到  $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

现状提升泵满足要求,本次工程不做改动。

#### ② 细格栅及曝气沉砂池

细格栅及曝气沉砂池合建,共计三座,单座处理能力为  $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。扩容改造不新建细格栅及曝气沉砂池,将现状单座处理能力提高至  $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。经核算,细格栅工作液位需提高至1.1 m,本次改造采用加高池体的方案,需加高0.4 m。

改造前一期细格栅采用回转式格栅,二期采用内进流网板式格栅。由于 A/O 系统及 MBR 系统在后续有连通,因此将对应 A/O 系统的细格栅换成内进流网板式格栅,内进流网板式格栅具有超高的污染物捕获率(尤其对纤维、毛发、杂草等),能对 MBR

膜丝起到很好的保护。格栅渠宽为1.5 m,网板宽度为2 m,栅前水深为1.1 m,孔径为3 mm,单台过水量为  $3.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,共2套,并配套增加中压和高压冲洗泵、高排水型螺旋压榨机等。

原曝气沉砂池一直未运行,导致除砂效果差,影响后续生化池有效容积,此次改造需对原设备和管道进行维修,使之正常运行。

#### ③ 二期膜格栅渠

膜格栅可以充分过滤污水中的纤维类杂物,对于后续膜处理单元的正常运行起到非常重要的保护作用。

现状膜格栅不能满足升级改造的过水量,需对膜格栅进行改造,将现状4台转鼓式格栅网面更换为1.5 mm的打孔网板。保证出水能满足  $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、变化系数为1.3的要求,单套过流量为2 000  $\text{m}^3/\text{h}$ ,共4套。

### 2.3.2 一期 A/O 系统

现状 A/O 系统处理水量为  $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,总停留时间为6.29 h,现状一期 A/O 系统需降负荷运行。

改造完成后,总 HRT = 8.65 h,其中缺氧池2.6 h,好氧池6.05 h,缺氧池 HRT 偏小,可通过关闭好氧池前端的曝气头增加缺氧池容积,最终缺氧池 HRT 取3.5 h,好氧池 HRT 取5.15 h,污泥浓度设计为4 500 mg/L,污泥负荷为0.14  $\text{kg}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ,负荷满足要求。

好氧池的微孔曝气盘部分老化,需要进行更换,微孔曝气盘规格为  $\varnothing 220 \text{ mm}$ ,更换数量约1 200个;对水下的部分曝气管道进行更换或维修。

### 2.3.3 二期二沉池

现状一期 A/O 系统二沉池降负荷运行。二沉池水力停留时间约6.7 h。表面水力负荷为0.52  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,固体负荷约为56.7  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,符合规范要求。

由于原剩余污泥泵、回流污泥泵运行时间较长,设备老化严重,此次进行更换。其中剩余污泥泵  $Q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 200 \text{ kPa}$ ,  $N = 7.5 \text{ kW}$ ,2台;回流污泥泵  $1Q = 1 440 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 55 \text{ kPa}$ ,  $N = 37 \text{ kW}$ ,1台;回流污泥泵  $2Q = 720 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 60 \text{ kPa}$ ,  $N = 22 \text{ kW}$ ,1台。

新增一期、二期污泥连通泵,  $Q = 850 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 50 \text{ kPa}$ ,  $N = 30 \text{ kW}$ ,2台。

### 2.3.4 二期 AAO + MBR 系统

#### ① 工艺核算

MBR 总处理规模变为  $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 利用北侧废弃的二沉池增加 9 个膜廊道, 因此北侧共 18 组膜廊道, 称为 A 组(北侧); B 组为南侧原 9 个膜廊道。A 组处理规模为  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , B 组处理规模为  $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

B 组基本未变化, 维持原水力停留时间: 厌氧池 1.5 h, 缺氧池 2.0 h, 好氧池 3.0 h, 膜池 1.9 h; A 组规模增加, 生化 HRT 均减小, 其中厌氧池 1.1 h, 缺氧池 1.5 h, 好氧池 2.2 h, 膜池 HRT 为 2.4 h, 缺氧池 HRT 偏小, 可通过关闭好氧池前端的曝气头增加缺氧池容积。

对于 A 组生化池的好氧池 + MBR 池, MBR 池污泥浓度以  $10\,000 \text{ mg/L}$  计, 回流比为 3.9, 好氧池和缺氧池的污泥浓度均为  $7\,900 \text{ mg/L}$ , 经核算, 其污泥负荷为  $0.08 \text{ kg}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ , 负荷均较低, 满足要求。

A 组北侧 72 + 63 个膜组器、B 组南侧 63 个膜组器, 共计 198 个组器, 核算名义膜通量为  $16.2 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 属于正常区间。

曝气鼓风机: 单台风机为  $175 \text{ m}^3/\text{min}$ , 2 台, 核算气水比为 3.6 : 1, 满足系统要求。改造前仅运行 1 台就满足要求, 气水比为 2.3 : 1, 本次扩容不增加风机。

膜吹扫风机: 单台风机为  $210 \text{ m}^3/\text{min}$ , 6 台, 改造后采用脉冲曝气, 按  $90 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  计算, 需要总风量为  $992 \text{ m}^3/\text{min}$ , 现状风机满足要求。

#### ② 工程设计

a. 厌氧池和缺氧池现有的 20 台低速推流器老化现象严重, 此次改造对其全部进行更换, 其中厌氧池低速推流器  $\varnothing 2\,300 \text{ mm}$ , 3 kW, 4 台; 缺氧池低速推流器  $\varnothing 2\,600 \text{ mm}$ , 4 kW, 4 台; 缺氧池低速推流器  $\varnothing 2\,600 \text{ mm}$ , 4 kW, 2 台。

b. 将现有的 84 套旧型号膜更换为新型带衬膜。

c. 生化池北侧二沉池原废弃的 9 个廊道投入使用, 增加 9 个膜廊道, 可增加 72 组膜组器, 并增加相应的污泥回流泵和起重机, 其中回流泵采用轴流泵, 规格为  $2\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 25 \text{ kPa}$ ,  $N = 37 \text{ kW}$ , 2 台; 配门式起重机, 起吊质量为 5 t, 跨度为 17.85 m, 起吊高度为 7 m, 行程为 59 m。

d. 对现有的膜组器进行冲洗清污, 清除附着的

砂砾、毛发及纤维性物质。

e. 对膜池进行清淤处理, 提高其有效容积。

f. 膜池回流渠增加穿孔曝气管, 对回流污泥进行搅拌, 防止污泥沉积。

g. 增加膜吹扫脉冲曝气系统, 以降低鼓风机的运行能耗。

### 2.3.5 二期新增 MBR 膜设备间

新建膜设备间 1 座, 紧邻北侧膜池。新增 9 台产水泵、抽真空专用设备。考虑工期要求, 设备间采用了彩钢板结构。

新增产水泵、产水专用设备, 其中产水泵规格为  $Q = 350 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 101 \text{ kPa}$ ,  $N = 15 \text{ kW}$ , 产水专用设备规格为  $\varnothing 600 \text{ mm}$ 。

### 2.3.6 原 MBR 膜设备间

新增膜组器的 CIP 清洗泵均利用原有的风管冲洗泵, 仅对管道进行改造。

考虑到需将 MBR 污泥输送至一期生化池, 对现状剩余污泥泵进行更换, 其规格为  $Q = 450 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 50 \text{ kPa}$ ,  $N = 15 \text{ kW}$ , 4 台。

### 2.3.7 除磷加药系统

现状除磷加药泵规格为  $Q = 583 \text{ L/h}$ ,  $H = 0.7 \text{ MPa}$ ,  $N = 0.55 \text{ kW}$ , 2 台, 可满足除磷加药要求, 此次改造不做调整。

### 2.3.8 产水消毒系统

现状产水消毒采用液氯, 实际设备已不能正常使用, 本次改造采用次氯酸钠直接投加消毒方式。新增储罐和加药泵, 位于原加氯间, 储罐规格为  $10 \text{ m}^3$ , 1 台; 加药泵为计量泵,  $Q = 1\,000 \text{ L/h}$ ,  $H = 350 \text{ kPa}$ ,  $N = 0.75 \text{ kW}$ , 2 台。

### 2.3.9 污泥脱水系统

神定河污水处理厂设计处理规模为  $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 日产绝干污泥约 24 t/d, 离心脱水机需 24 h 连续运行, 污泥脱水能力略显不足, 尤其是峰值流量或故障维修保养时, 不能满足污泥脱水能力。考虑到脱水机房空间限制, 因此对其中一台离心脱水机进行更换, 处理量  $Q = 45 \sim 55 \text{ m}^3/\text{h}$ , 绝干泥处理量  $\geq 700 \text{ kgDS/h}$  (98% ~ 99% 进料含水率条件下)。

## 3 运行效果

升级改造工程于 2015 年运行后, 一期 A/O 系统处理水量为  $(4 \sim 4.5) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 二期 AAO + MBR 系统处理水量约  $(13.5 \sim 14) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 总处理规模可达  $(18 \sim 19) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。环保局在线监测



结果表明,出水水质稳定优于一级 A 排放标准,具体如表 4 所示。

表 4 实际进、出水水质(2015 年—2016 年)

Tab. 4 Actual influent and effluent quality(2015 - 2016)

mg · L<sup>-1</sup>

| 项目                  | 进水     | 一期出水  | 二期出水  | 混合出水  |
|---------------------|--------|-------|-------|-------|
| COD                 | 110.63 | 33.05 | 12.82 | 21.38 |
| BOD                 | 58.32  | —     | —     | 6.08  |
| SS                  | 233.37 | 18.81 | 3.61  | 7.00  |
| NH <sub>3</sub> - N | 21.92  | 7.10  | 1.35  | 2.69  |
| TN                  | 24.80  | 11.61 | 9.30  | 9.64  |
| TP                  | 1.89   | 0.49  | 0.36  | 0.43  |

#### 4 结论及建议

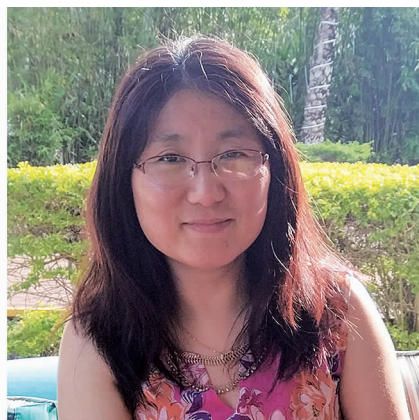
神定河污水处理厂升级改造工程充分利用二期 MBR 工艺的优势,使 MBR 系统的处理规模由  $11 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  提升至  $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,一期 A/O + 二沉池工艺降负荷运行,处理规模由  $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  降至  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,处理总规模达到  $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,且通过合理调控,实际出水水质的各项指标均优于一级 A 排放标准,可为当前采用传统工艺的污水处理厂升级改造提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 吴媛媛,张彩云,曹明浩,等. 神定河污水处理厂提标

改造——CAS - MBR 复合工艺[J]. 净水技术,2016, 35(4):11 - 15,87.

Wu Yuanyuan, Zhang Caiyun, Cao Minghao, et al. Upgrading and reconstruction of Shendinghe WWTP in application of combined process of CAS - MBR[J]. Water Purification Technology, 2016, 35(4): 11 - 15, 87 (in Chinese).



作者简介:侯晓庆(1981 - ), 女, 陕西三原人, 本科, 工程师, 主要从事膜工艺设计等相关工作。

E - mail:houxiaqing@originwater.com

收稿日期:2018 - 05 - 04

(上接第 65 页)

BS 和 IEC 的基本原则和要求,设计中关注电气设备的工作环境、马来西亚的设计规范以及地下污水厂不同于其他污水处理厂的配电系统设计与负荷等级,从而保证了污水处理厂的安全、可靠、经济运行。

#### 参考文献:

- [1] 刘介才. 工厂供电[M]. 北京:机械工业出版社, 2010.  
Liu Jiecai. Factory Electricity Supply[M]. Beijing:China Machine Press, 2010(in Chinese).
- [2] 马胜利. 关于电气设计说明书写作的探讨[J]. 科技创新导报, 2011, (36): 224 - 225.  
Ma Shengli. Discussion on the electrical design specification writing[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2011, (36): 224 - 225(in Chinese).
- [3] 汤蕴璆. 电机学[M]. 北京:机械工业出版社, 2011.  
Tang Yunqiu. Electromechanics[M]. Beijing:China Machine Press, 2011(in Chinese).



作者简介:王亮(1981 - ), 男, 河北唐山人, 本科, 工程师, 高级电气自控工程师, 主要从事水处理工程的电气与自动化系统设计工作。

E - mail:wangliang2@bewg.net.cn

收稿日期:2018 - 04 - 11