

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.14.018

# 某污水厂不停水不扩地提标改造及扩建工程设计

秦栽根, 闫 萍

(北控水务<中国>投资有限公司, 北京 100020)

**摘 要:** 北京市某污水处理厂原设计规模为  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 出水标准为国标的一级 A 标准。本次提标改造及扩建工程中, 在不新增占地的情况下, 污水厂处理规模由  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  扩建至  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 出水标准由原国标一级 A 标准提升到北京市地标《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012) 的 B 标准。工程主体工艺采用  $\text{A}^2\text{O} - \text{MBR}$  工艺, 深度处理采用臭氧紫外联合氧化。由于占地面积有限, 本工程采用半地下建设形式, 同时为保证改造期间不影响污水厂的正常生产, 整个改造分期实施。实际运行表明, 本工程出水水质完全满足设计要求, 运行良好。

**关键词:** 半地下污水厂; 提标改造及扩建;  $\text{A}^2\text{O} - \text{MBR}$

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)14-0113-05

## Design of Upgrading Reconstruction and Expansion Project of a Wastewater Treatment Plant Without Wastewater Stoppage and Expansion of Area

QIN Zai-gen, YAN Ping

(Beijing Enterprises Water Group <China> Investment Limited, Beijing 100020, China)

**Abstract:** The original design scale of a wastewater treatment plant in Beijing was  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , and the standard of effluent was the national first class A standard. In the project of upgrading and expanding, the scale would be expanded from  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  to  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  without increasing the land occupation. The effluent standard would be upgraded from the national first class A standard to B level of Beijing local standard *Discharge Standard of Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plants* (DB 11/890 - 2012). The main process of the project adopted the  $\text{A}^2\text{O} - \text{MBR}$ , and the advanced treatment used ozone and ultraviolet combined oxidation. Due to the limited area, the project adopted a semi-underground construction form, and at the same time, to ensure that the normal production of the wastewater treatment plant was not affected during the transformation period, the whole transformation was implemented by stages. After the actual operation feedback, the effluent indicators of the project fully met the design requirements, and the actual operation state was good.

**Key words:** semi-underground wastewater treatment plant; upgrading reconstruction and expansion;  $\text{A}^2\text{O} - \text{MBR}$

2013 年北京市污水治理三年行动方案正式发布实施, 要求某污水处理厂完成升级改造任务, 升级改造后处理规模从目前的  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  提高到  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 出水标准由原《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准提升到北京

市地方标准《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012) 中的 B 标准, 其中主要指标满足地表水 IV 类水体要求。

### 1 污水厂现状

该污水厂建成于 2002 年, 是北京市 9 座中心城

区污水处理厂之一,原设计规模为  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,出水水质执行一级 A 排放标准,为地上式污水处理厂。原工艺流程为“预处理+高效生物滤池+二沉池+混凝沉淀过滤+消毒”。为保证出水总磷的达标采用高效侧流除磷工艺,部分污泥回流进行化学除磷,有效地节约了占地面积,并保证了出水水质稳定达到一级 A 标准。

对污水厂 2009 年—2012 年的进水水质进行了统计分析,进水 85% 覆盖率的统计见表 1。

表 1 进水水质 85% 覆盖率统计

Tab. 1 Statistics of 85% coverage rate of influent quality

| $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ |     |                  |                    |      |      |     |
|---------------------------------|-----|------------------|--------------------|------|------|-----|
| 年份                              | COD | BOD <sub>5</sub> | NH <sub>3</sub> -N | TN   | TP   | SS  |
| 2009                            | 443 | 242              | 48.3               | 66.9 | 4.66 | 327 |
| 2010                            | 414 | 215              | 49.8               | 68.5 | 4.21 | 337 |
| 2011                            | 423 | 239              | 53.2               | 73.4 | 4.32 | 277 |
| 2012                            | 322 | 183              | 47.4               | 65.4 | 4.20 | 249 |
| 4 年平均                           | 420 | 227              | 50.4               | 69.4 | 4.42 | 314 |

通过分析污水厂实际运行水质,以及参考同区域污水水质情况并适当考虑水质随城市经济发展而变化的趋势,将出水标准提升到北京市地方标准《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012)中的 B 标准,其中主要指标满足地表水 IV 类水体要求。最终确定提标改造工程的设计进、出水水质见表 2。

表 2 提标改造工程设计进、出水水质

Tab. 2 Design influent and effluent quality of upgrading project

| $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$     |     |                  |                    |    |     |     |
|-------------------------------------|-----|------------------|--------------------|----|-----|-----|
| 项目                                  | COD | BOD <sub>5</sub> | NH <sub>3</sub> -N | TN | TP  | SS  |
| 进水                                  | 500 | 280              | 55                 | 70 | 7.0 | 320 |
| 出水                                  | 30  | 6                | 1.5(2.5)           | 15 | 0.3 | 5   |
| 注: 括号内数值为每年 12 月 1 日—3 月 31 日的执行标准。 |     |                  |                    |    |     |     |

## 2 提标改造及扩建工程分析

### 2.1 难点分析

本工程提标改造及扩建工程难点如下:

① 污水厂占地面积小,改造及扩建用地非常紧张,现有占地面积为  $22\,000 \text{ m}^2$ ,远低于《城市污水处理工程项目建设标准》的占地标准,如何在有限的用地范围内解决升级改造所需用地,是升级改造面临的一大难点。

② 为了尽可能减少对受纳水体的污染,改造期间尽可能减少停水、尽量保证原污水厂的运行是

重要考虑因素。

③ 进水氨氮、总氮浓度高,冬季水温偏低,影响生物脱氮反应效率。

### 2.2 系统分析

#### ① 预处理系统

预处理除要考虑升级改造后处理程度和处理量提高外,还应满足后续生化处理工艺的要求,在设计中还应考虑不停水施工的困难。原有的  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模的预处理系统无法满足  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  新规模的需求,需要全部拆除更新。

#### ② 主体生化系统

综合考虑占地面积、进出水水质要求、施工难度、运营的维修维护工作量、技术经济比选等,确定污水厂采用 A<sup>2</sup>O-MBR 工艺,其良好的运行效果已在国内其他污水厂得到验证<sup>[1-2]</sup>。

本工程原生物滤池、混凝沉淀及过滤工艺已无法满足升级改造及扩建的需求,需要全部拆除。

#### ③ 污泥处理系统

一般而言,单纯的好氧膜生物反应器的活性污泥的沉降性能较差,相对而言脱水性能也较差。为了应对可能发生的污泥脱水性能下降问题,拟采取将剩余污泥加药调质来改善污泥脱水性能,最后进入污泥离心脱水机进行处理,确保脱水污泥含水率符合要求。

考虑到污泥脱水性能以及维护、备品备件与原系统尽量保持一致等因素,污泥脱水设备与原厂区保持一致,采用离心脱水机。由于处理规模扩大,原有污泥处理系统无法满足要求,全部拆除新建。

#### ④ 深度处理系统

本项目对出水色度有较高的要求(出水色度  $\leq 15$  倍),同时污水处理厂出水必须进行消毒处理。为保证出水色度达标,本方案深度处理拟选用臭氧紫外联合氧化消毒工艺。

光催化臭氧化( $\text{O}_3/\text{UV}$ )是将臭氧与紫外光辐射(波长在  $180 \sim 300 \text{ nm}$  之间)相结合的一种高级氧化过程;臭氧-紫外( $\text{O}_3/\text{UV}$ )联合作用机理如下<sup>[3-5]</sup>:a. 紫外光辐射下,水中臭氧分解成氧化能力更强的自由基,增加了对水中有机物的氧化能力和速度,比单独用臭氧直接反应产生的自由基要多;b. 紫外光辐射使有机物外层电子处于激发态,提高分子的自由能,使有机物分子活化,从而易于在氧化剂臭氧的作用下氧化分解。联合作用提高了消毒和去

除微量有机物的效率,同时保障出水中色度、TOC、细菌等达标。

本工程中污水经过了 MBR 工艺处理,出水中 SS 和浊度偏低,降低了对紫外、臭氧消毒效果的影响,故深度处理更适合采用臭氧联合紫外进行氧化消毒处理。

### 3 提标改造及扩建工程工艺流程

经综合考虑,确定污水厂提标改造及扩建工程采用半地下建设型式,工艺流程见图1。

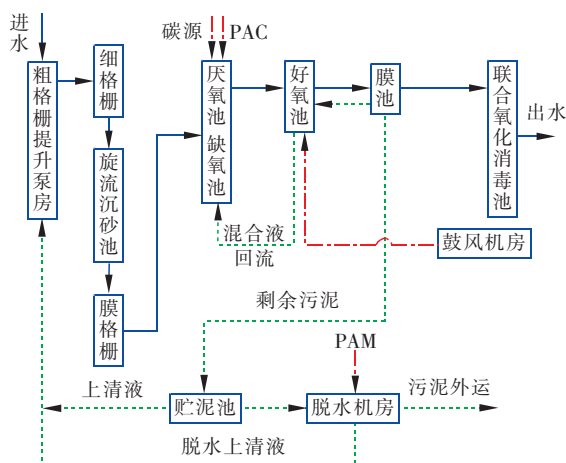


图1 提标改造及扩建工艺流程

Fig.1 Process flow chart of upgrading reconstruction and expansion project

#### ① 预处理系统

预处理包括粗格栅及提升泵房、细格栅及旋流沉砂池、膜格栅。预处理车间为地上地下双层结构,地上为框架式操作层,地下部分包括粗格栅渠、污水提升泵站、细格栅渠、旋流沉砂池。

粗格栅渠设置人工粗格栅: $B=1.0\text{ m}$ , $s=40\text{ mm}$ , $H=9.5\text{ m}$ ,3台;

机械粗格栅: $B=1.0\text{ m}$ , $s=20\text{ mm}$ ,3台;

污水提升泵:单台 $Q=1\,200\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=150\text{ kPa}$ , $N=75\text{ kW}$ ,5台(4用1备);

细格栅:回转式钩齿格栅除污机3台, $B=1.2\text{ m}$ , $s=5\text{ mm}$ ;

旋流沉砂池:尺寸 $\varnothing 3.65\text{ m}\times 4.85\text{ m}$ ,配套旋流除砂机2台;

膜格栅:转鼓格栅5台, $S=1.0\text{ mm}\times 1.0\text{ mm}$ , $\varnothing 2.0\text{ m}$ 。

#### ② 主体生化系统

I期设计规模为 $4.4\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,II期设计规模

为 $3.6\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ;生物池设备按照平均流量配置,膜组件及配套设备按峰值流量配置。

生化系统设计参数如下:MLSS=8 000~12 000 mg/L;SRT=20 d;剩余污泥干质量为15 000 kg/d;膜池→好氧池回流比为300%~600%;好氧池→缺氧池硝化液回流比为200%~400%;缺氧池→厌氧池回流比为50%~100%;好氧池→厌氧池回流比为50%~100%。厌氧池停留时间为1.66 h;缺氧池停留时间为3.75 h;好氧区停留时间为7.06 h。

I期设计参数:生物池(含膜池)尺寸为 $83.10\text{ m}\times 48.20\text{ m}\times 8.40\text{ m}$ ,有效水深为6.7 m。

膜设备间尺寸为 $49.00\text{ m}\times 40.82\text{ m}\times 9.00\text{ m}$ ;浸没式膜组件48套,单套过滤面积为 $1\,650\text{ m}^2$ ;膜系统平均通量为 $23\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ;曝气风机4台(3用1备), $Q=96\text{ m}^3/\text{min}$ , $H=78.5\text{ kPa}$ , $N=172\text{ kW}$ ;膜擦洗风机3台(2用1备), $Q=220\text{ m}^3/\text{min}$ , $H=49\text{ kPa}$ , $N=262\text{ kW}$ 。

II期设计参数:生物池(含膜池)尺寸为 $63.80\text{ m}\times 51.50\text{ m}\times 8.40\text{ m}$ ,有效水深为6.7 m。

膜设备间尺寸为 $52.30\text{ m}\times 37.70\text{ m}\times 9.00\text{ m}$ ;浸没式膜组件42套,单套过滤面积为 $1\,650\text{ m}^2$ ;膜系统平均通量为 $21.6\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ;曝气风机4台(3用1备), $Q=80\text{ m}^3/\text{min}$ , $H=78.5\text{ kPa}$ , $N=144\text{ kW}$ ;膜擦洗风机3台(2用1备), $Q=180\text{ m}^3/\text{min}$ , $H=49\text{ kPa}$ , $N=212\text{ kW}$ 。

#### ③ 深度处理系统

深度处理系统包括前臭氧接触池、封闭式紫外系统、后臭氧接触消毒池及巴氏计量槽、臭氧发生间等。

前臭氧接触池尺寸为 $8.30\text{ m}\times 9.40\text{ m}\times 6.50\text{ m}$ (有效),停留时间为9.0 min。

后臭氧接触池尺寸为 $18.30\text{ m}\times 9.40\text{ m}\times 6.50\text{ m}$ (有效),停留时间为20 min。

封闭管式紫外系统:单套灯管数量60支,4套。

臭氧发生器:采用空气源型式,臭氧产量为 $10\text{ kg/h}$ ,2套,臭氧投加量为 $5\text{ mg/L}$ 。

#### ④ 污泥处理系统

为了避免剩余污泥在厌氧条件下重新释磷,污泥贮池的水力停留时间不宜过长,控制在30 min以内。污泥脱水采用离心脱水机, $Q=40\text{ m}^3/\text{h}$ ,3台。

#### ⑤ 臭气处理系统

污水厂为半地下式封闭结构,需对全厂构筑物

进行臭气收集及处理,除臭范围包括粗格栅井及污水提升泵站、细格栅井及旋流沉砂池、膜格栅、厌氧池、缺氧池、污泥脱水间等。

除臭总风量为  $36\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$ ,配置离心通风机3台(2用1备)。

#### 4 提标改造及扩建工程实施方案

污水厂原平面布置见图2。

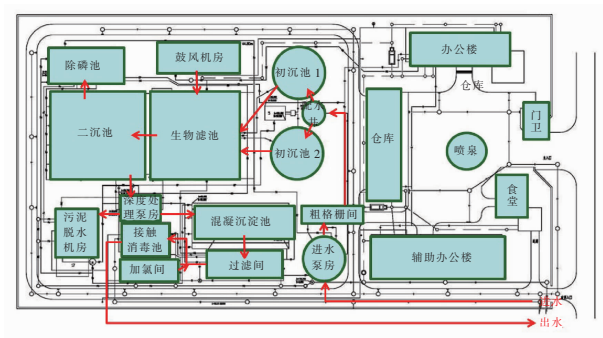


图2 污水厂原平面布置

Fig. 2 Original layout of the WWTP

按照不扩地、不停水,在改造期间尽量保证污水厂的正常运行的原则,本次改造及扩建工程在设计阶段规划分两期建设:

I期、II期两期根据现状布置分期建设,占地面积不同,两期设计处理规模也不同。由膜格栅渠后的出水堰调配两期的进水水量。I期设计水量为  $4.4 \times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$ , II期设计水量为  $3.6 \times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$ 。

##### I期建设步骤:

① 首先新建临时深度处理设施(纤维转盘滤池);

② 拆除原深度处理设施(包括絮凝沉淀池和快滤池);

③ 原址新建预处理车间,含粗格栅渠、集水井、污水提升泵房、细格栅渠和旋流除砂池;

④ 预处理车间改造建设完成后与原生化系统接合投入使用;

⑤ 拆除原预处理部分(含截污池、进水泵房、格栅间、初沉池及配套的初沉污泥泵房和配水井)、南侧辅助办公楼和车库及仓库;

⑥ 新建I期生物池和膜系统,在I期生物池上部新建I期鼓风机房、I期变配电间、I期膜设备间、I期生物池以及供两期用的膜格栅渠、臭氧制备间、加氯间。另新建南侧办公楼及回用水池、联合氧化消毒池及巴氏计量槽。

I期建成后平面布置见图3。

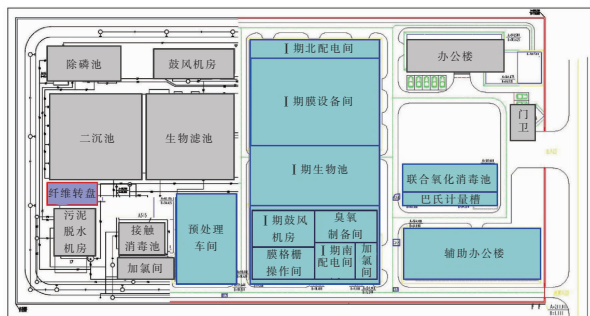


图3 I期建成后平面布置

Fig. 3 Plane layout of the WWTP after phase I construction

##### II期建设步骤:

① I期投入使用后拆除原生化池、二沉池、侧路除磷系统、污泥脱水机房、加药间、污泥调配池、加氯间、接触消毒池、污泥回流泵房、自用水泵房、鼓风机房和配电间;

② 新建II期生物池、II期膜设备间,在II期生物池上部新建II期风机房、II期配电间、机修间、仓库,新建供两期使用的综合工房、综合工房配电间和除臭系统。

II期建成后平面布置见图4。

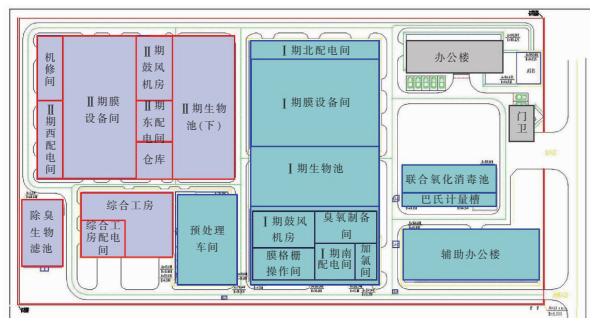


图4 II期建成后平面布置

Fig. 4 Plane layout of the WWTP after phase II construction

#### 5 工程实际运行效果

污水厂提标改造及扩建工程完成后,经过一年的运行,其出水效果较好,出水水质全部达标,2016全年实际进、出水水质如表3所示。由表3中的数据可见,进水水质较设计水质偏低,经综合分析,可能是项目投运初期,进水水质不稳定,或者是由于上游雨污分流不彻底,或沿河截污有雨水汇入所致,从进水  $\text{BOD}_5$  与  $\text{SS}$  的对比关系可以进一步验证此种情况可能存在。



表 3 2016 年实际进、出水水质  
Tab.3 Actual influent and effluent quality in 2016

mg · L<sup>-1</sup>

| 月份   | 平均进水 |                  |     |                     |    |     | 平均出水 |                  |     |                     |      |      |
|------|------|------------------|-----|---------------------|----|-----|------|------------------|-----|---------------------|------|------|
|      | COD  | BOD <sub>5</sub> | SS  | NH <sub>3</sub> - N | TN | TP  | COD  | BOD <sub>5</sub> | SS  | NH <sub>3</sub> - N | TN   | TP   |
| 1 月  | 209  | 86               | 171 | 24                  | 30 | 3.0 | 8.0  | 1.3              | 3.0 | 0.34                | 8.1  | 0.25 |
| 2 月  | 190  | 90               | 180 | 24                  | 28 | 3.0 | 8.0  | 1.4              | 3.0 | 0.28                | 11.0 | 0.25 |
| 3 月  | 194  | 92               | 181 | 22                  | 27 | 2.7 | 7.7  | 1.2              | 2.7 | 0.30                | 9.5  | 0.28 |
| 4 月  | 225  | 129              | 206 | 21                  | 28 | 3.6 | 7.2  | 1.4              | 2.6 | 0.27                | 9.0  | 0.26 |
| 5 月  | 196  | 80               | 188 | 23                  | 28 | 2.7 | 7.3  | 1.2              | 2.3 | 0.36                | 9.0  | 0.25 |
| 6 月  | 180  | 89               | 176 | 17                  | 26 | 2.0 | 8.2  | 1.4              | 2.0 | 0.12                | 10.1 | 0.19 |
| 7 月  | 163  | 91               | 177 | 19                  | 30 | 2.9 | 7.6  | 0.9              | 1.9 | 0.28                | 7.8  | 0.29 |
| 8 月  | 244  | 101              | 239 | 20                  | 30 | 3.5 | 6.1  | 1.9              | 2.0 | 0.21                | 9.4  | 0.25 |
| 9 月  | 170  | 62               | 204 | 23                  | 30 | 3.1 | 6.2  | 1.8              | 1.9 | 0.21                | 10.3 | 0.29 |
| 10 月 | 247  | 109              | 245 | 26                  | 34 | 3.0 | 6.9  | 2.0              | 1.7 | 0.33                | 12.4 | 0.27 |
| 11 月 | 267  | 89               | 208 | 31                  | 37 | 3.6 | 9.3  | 1.7              | 1.9 | 0.35                | 11.7 | 0.18 |
| 12 月 | 235  | 84               | 186 | 28                  | 35 | 3.3 | 8.9  | 1.8              | 2.1 | 0.34                | 10.5 | 0.23 |

6 结论

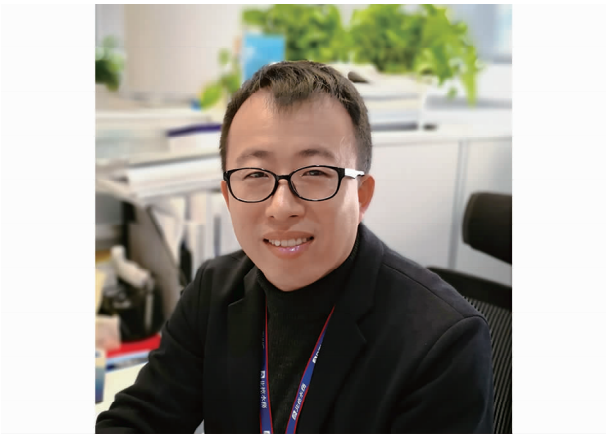
该污水处理厂原设计规模为 2 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,在不扩地、不停水的情况下,扩建为 8 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,出水标准由原国标一级 A 标准提升至北京市地方排放标准 B 标准,工程采用 A<sup>2</sup>O—MBR—联合氧化工艺,实际运行表明,该工程各项出水指标优异,具有一定的创新性和示范作用。

参考文献:

[1] 徐荣乐,樊耀波,张晴,等. A<sup>2</sup>/O - MBR 研究与应用进展[J]. 膜科学与技术,2013,33(6):111 - 118.  
Xu Rongle, Fan Yaobo, Zhang Qing, *et al.* Recent progress in the development and application of A<sup>2</sup>/O - MBRs[J]. Membrane Science and Technology,2013,33(6):111 - 118(in Chinese).  
[2] 韩晓宇,张荣兵,顾剑,等. 北京市北小河污水处理厂 MBR 系统运行分析[J]. 给水排水,2011,37(11):31 - 33.  
Han Xiaoyu, Zhang Rongbing, Gu Jian, *et al.* Operation analysis of MBR system in Beijing Beixiaohe sewage treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2011,37(11):31 - 33(in Chinese).  
[3] 王树涛,马军,田海,等. 污水厂二级处理出水的臭氧氧化特性及其动力学[J]. 中国给水排水,2007,23(23):79 - 81,86.  
Wang Shutao, Ma Jun, Tian Hai, *et al.* Ozonation characteristics and kinetics of secondary effluent from WWTP[J]. China Water & Wastewater,2007,23(23):

79 - 81,86(in Chinese).

[4] 王梓. 催化臭氧化水中有机物机理研究[D]. 杭州:浙江工业大学,2008.  
Wang Zi. Study on the Mechanism of General Catalytic Ozonation of Organic Compounds [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology,2008(in Chinese).  
[5] 谢丹. 臭氧紫外联用深度处理污水厂二级出水的研究[D]. 合肥:安徽建筑工业学院,2012.  
Xie Dan. Research on Advanced Treatment of Secondary Effluent from Sewage Treatment Plant by O<sub>3</sub>/UV [D]. Hefei: Anhui University of Architecture, 2012 ( in Chinese).



作者简介:秦裁根(1981 - ),男,山西阳泉人,本科,高级工程师,部门总工,主要从事水处理工程设计及技术管理工作。

E - mail:rootpower@126.com

收稿日期:2019 - 09 - 23