

# 多级AO工艺用于全地下式北京碧水污水处理厂升级改造

董 洋, 汪德金, 余 波

(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610036)

**摘 要:** 分段进水多级AO工艺在国外已经广泛应用,在国内污水厂提标改造工程中也越来越受到重视,而国内规范及教材对此部分设计参数规定较为宽泛。针对国内日益严格的污水厂出水水质标准,多级AO工艺对TN的去除比传统AO工艺具有更大的优势。其主要的工艺特点是缺氧段和好氧段交替运行,正常运行时每一段的水力负荷相同,便于运行管理。北京市碧水污水处理厂升级改造工程设计规模为 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,设计为全地下式,采用的主体工艺为多级AO+二沉池+高效沉淀池+膜滤池+紫外线消毒,详细介绍了该工程工艺池体及曝气系统设计情况。

**关键词:** 污水处理厂; 多级AO工艺; 脱氮

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)02-0059-04

## Application of Multi-stage AO Process in the Upgrading and Reforming Project in Underground Beijing Bishui Wastewater Treatment Plant

DONG Yang, WANG De-jin, YU Bo

(Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610036, China)

**Abstract:** With the wide application of step-feed multi-stage AO process, more attention has been paid in the renovation project of domestic wastewater treatment plant. While, in domestic standards and teaching materials, the design parameters of this part are set in a wide range. With regard to the increasingly strict standard of water quality in domestic wastewater treatment plant, multi-stage AO process mainly has greater advantage over the traditional AO process in the removal of TN. Its main technological characteristics are alternating operation of anoxic and aerobic sections, with same hydraulic loading in each zone while normal operating, which makes it easy to be managed. The treatment capacity of the upgrade project in Beijing Bishui wastewater treatment plant was  $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , the process of multi-stage AO + secondary sedimentation tank + efficient sedimentation tank + membrane filter + ultraviolet disinfection was adopted. This paper introduced the designing process of tank and aerating system in the biological treatment process of the project.

**Key words:** wastewater treatment plant; multi-stage AO; nitrogen removal

北京碧水污水处理厂位于北京市通州区梨园镇砖厂村北,是通州区最大的污水处理厂,于2005年4月正式运营。目前处理水量占到全区总处理水量的84.3%,服务面积为 $46 \text{ km}^2$ ,服务人口为70万人。该厂占地为 $23 \text{ hm}^2$ ,设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。原采用美国深池曝气污水再生与利用技术,原设计出水标准为《城镇污水处理厂污染物排放标准》

(GB 18918—2002)一级B标准。随着通州区的经济发展以及北京副中心建设,现有的处理工艺和规模已经不能满足需求,为此建设北京碧水污水处理厂升级改造工程,设计规模为 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,采用多级AO+二沉池+高效沉淀池+膜滤池+紫外线消毒处理工艺。采用全地下式,占地面积约 $7.3 \text{ hm}^2$ ,其中 $1.1 \text{ hm}^2$ 为远期预留发展用地。

## 1 设计水质

设计进水水质取 90% 保证率下进水水质并考虑通州新城发展需要。出水水质执行北京市地方标准《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012) 的 B 标准,具体如表 1 所示。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

mg · L <sup>-1</sup>						
项目	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	NH <sub>3</sub> - N	TN	TP
进水	200	400	200	60	70	6
出水	6	30	5	1.5	15	0.3

## 2 设计水量

① 根据《通州新城规划(2005—2020)》,2020 年通州新城城市综合人均用水量为 0.43 m<sup>3</sup>/(人 · d),规划人口为 71.5 万人,用水量为 30.75 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。

② 根据现状通州区用水量资料调查测算,2020 年单位建设用地综合用水量指标为 0.5 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/(km<sup>2</sup> · d),建设用地上 46 km<sup>2</sup>,用水量为 23 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。

综合上述二种方法预测,根据通州区实际情况,平均推算确定 2020 年用水量为 27 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。根据污水产率系数及收集率计算得设计规模为 18 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。

现状碧水污水厂每天抽取量控制在 12 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,但实际水量远大于抽取量,近年来高峰流量经常超过 16 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。综合水量计算及现状水量调查确定碧水污水厂升级改造工程设计规模为 18 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。

## 3 工艺流程

碧水污水厂原采用深池曝气工艺。污水通过提升泵提升进入约 22 hm<sup>2</sup> 的曝气氧化塘,整个氧化塘分为强曝气区、弱曝气区、沉淀出水区。整个污水厂的占地面积大,处理效率较低。

改造后的污水厂采用全地埋式,最深处在地面以下约 17 m,占地面积对工程造价的影响很大,所以尽量采用占地面积小、处理效果稳定的处理工艺。通过多种工艺的技术经济比较,确认选择多级 AO + 二沉池 + 高效沉淀池 + 膜滤池 + 紫外线消毒主体处理工艺(见图 1)。其中,生化池采用的分段进水多级 AO 工艺是近年新兴的高效处理工艺,已经在国内外大中型污水厂得到广泛应用。

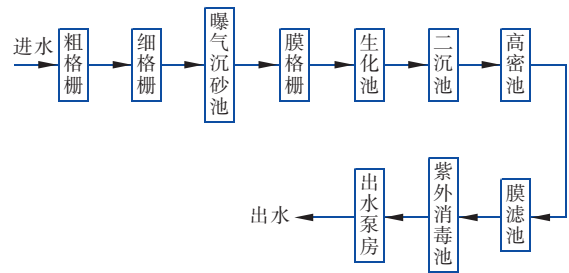


图 1 升级改造工艺流程

Fig. 1 Flow chart of upgrading project process

## 4 污水厂改造前后的对比

随着通州作为北京行政副中心城市地位的确定,提高对土地的利用率具有很高的经济价值和社会价值。原碧水污水厂为一座占地面积约 22 hm<sup>2</sup> 的全露天曝气池,处理规模为 10 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。新建碧水污水厂占地约 7.3 hm<sup>2</sup>,处理规模为 18 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,显著提高了对土地的利用率。

原污水厂建设时,周边尚未开发,目前实际已经建设了很多居住小区。采用原露天的深池曝气工艺,会产生大量臭气,对污水厂周边居民生活环境影响较大。新建碧水污水厂采用全地埋式,且设置臭气收集净化处理系统。整个污水厂位于地面以下,水厂顶部覆土 1.2 m,设计为体育公园。建成运行后,不仅不会影响到周边居民的生活环境,地面公园投入使用后,还可为周边居民的体育休闲提供更多的选择。

出水标准由一级 B 标准提升至北京市地方标准《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012) 中的 B 标准,出水水质明显提高。原厂采用的深池曝气工艺,已经无法满足现在的出水水质。特别是新标准对 NH<sub>3</sub> - N 的去除要求是原来的 10 倍,而多级 AO 生化处理工艺则对 NH<sub>3</sub> - N 的去除效果很好。

## 5 分段进水多级 AO 工艺简介

### 5.1 工作原理

生化池共分为三级六段,分别为缺氧 I 段、好氧 I 段,缺氧 II 段、好氧 II 段,缺氧 III 段、好氧 III 段(见图 2)。在缺氧段主要进行反硝化脱氮作用,通过设置搅拌器达到较好的混合和缺氧状态。在好氧段进行硝化作用以及降解 BOD、COD。每一段都构成传统意义上的 AO 处理工艺。不同点是在好氧 I 段硝化作用产生的硝态氮和亚硝态氮可以不完全依赖内

回流进入缺氧Ⅰ段中进行反硝化作用,也可直接进入缺氧Ⅱ段进行反硝化脱氮,从而达到更好的脱氮效果。在好氧Ⅱ段产生的硝态氮及亚硝态氮亦可进入缺氧Ⅲ段进行反硝化<sup>[1]</sup>。另外,每段缺氧区都有污水直接流入,不仅为反硝化菌和聚磷菌提供了充足的碳源,也减轻了好氧区的有机负荷,为硝化菌的生长繁殖提供了有利条件,从而可更好地进行脱氮除磷反应<sup>[2]</sup>。

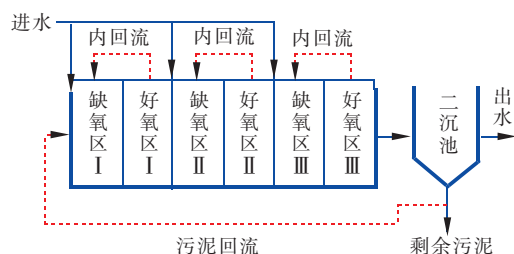


图 2 分段进水多级 AO 工艺原理

Fig. 2 Principle of step-feed multi-stage AO process

每段之间在池底交错设置 2 m × 2 m 的过水孔,使水流能在池中“S”形流动,达到较好的水力条件,减少死水区。进水和出水渠道分别设置溢流堰,达到较好的配水效果。

为了更好地说明多级 AO 法脱氮原理,假定:①进水中的氮是全部可硝化的氨氮;②在各段的硝化槽内和脱氮槽内,硝化反应和脱氮反应充分进行;③各段进水量和生物量相等。首先流入各段缺氧槽(脱氮槽)的氨氮经过后接好氧槽(硝化槽)的硝化,硝化混合液的一部分经内部循环回到缺氧槽,残余部分进入后段的缺氧槽进行脱氮,作为气体 N<sub>2</sub> 释放<sup>[3]</sup>。由于流入第Ⅰ段和第Ⅱ段的氨氮在本段硝化槽内被全部转换成硝酸盐氮,在本段和后段的脱氮槽内被全部转换成气体 N<sub>2</sub> 释放,所以最后出水的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N 浓度和此无关系。作为最后出水的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N 是由流入第Ⅲ段(最后段)脱氮槽的氨氮经硝化槽硝化后的一部分而已<sup>[4]</sup>。

考虑最后段的氮的物质平衡,作为最后段进水中的 NH<sub>3</sub> - N 的去向有:①作为 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N 流向二沉池;②到最后段脱氮槽内脱氮。

$$\frac{Q}{N} \times C_{N,in} = (1 + r) Q \times C_{NO_3,out} + R_N \times Q \times C_{NO_3,out} \quad (1)$$

$$\frac{C_{NO_3,out}}{C_{N,in}} = \frac{1}{N(1 + r + R_N)} \quad (2)$$

理论最大氮去除率( $\eta_{DN,max}$ ):

$$\eta_{DN,max} = 1 - \frac{1}{N(1 + r + R_N)} \quad (3)$$

式中  $N$ ——段数

$r$ ——污泥回流比

$R_N$ ——最后段内回流比

$Q$ ——总进水量

$C_{NO_3,out}$ ——生化池末端出水硝态氮浓度

$C_{N,in}$ ——生化池进水氨氮浓度

根据式(1),多级法的氮的理论最大去除率受段数( $N$ )、最后段内回流比( $R_N$ )、污泥回流比( $r$ )等三个因素的影响。在多级法中,理论上硝化对象氮的去除率,在回流污泥比一定的条件下,由最后段的内回流比以及段数所决定。非最后段的内回流在理论上对氮的去除率并无影响,但是对平均各段的脱氮负荷有贡献。

本工程在设计计算时,设定污泥回流比为 75%,段数设计为 3 段,最后段内回流为 0,在此条件下,理论上氮的去除率可达到 81%。在实际运行中,可根据进出水水质相应调整最后段内回流比,从而保障氮的去除率。

## 5.2 工艺特点

分段进水多级除磷脱氮工艺(多级 AO 工艺)目前在日本是最为引人注目的新工艺,2005 年被日本的官方机构日本下水道事业团所推荐使用。

分段进水比单一进水可以降低进水污染物浓度变化对系统的冲击,抗冲击负荷能力更强,系统运行更稳定。多级 AO 串联运行,好氧段产生的硝态氮不仅可以通过回流到缺氧段进行脱氮,其流入下一个缺氧段也可以去除,从而提高了脱氮的效率。分段进水能够按照比例分配每一段的碳源,交替的缺氧好氧环境也为反硝化菌和聚磷菌的生长创造了良好的条件。该工艺由于基于在各段对等量的生物量(MLSS 量)给予等量的营养源(流入水量)这一原则进行设计,所以各段的污泥负荷基本相同,故可以对各段在相同的运行条件下进行管理。比如,由于各硝化槽的需氧量相同,在采用相同的曝气设备的情况下,全部硝化槽可以用相同的 DO 浓度进行管理<sup>[5]</sup>,从而大大地减轻了管理的强度。

## 5.3 运行要点

① 三级 AO 法是以进水平均分配给每级中的缺氧池作为前提条件而推导的工艺设计理论,故在

实际运行中,需要保证进水的平均分配。

② 在冬季水温较低或者进水 TN 浓度较高的情况下,三段内回流全部启动以求出水 TN 达标。同时,在最后级出水端通过投加化学絮凝剂使出水 TP 达标。

③ 在夏季水温较高或者进水 TN 浓度较低的情况下,三段内回流可全部关闭。在保证出水 TN 达标的情况下,使生物除磷效果最大化,减少化学除磷药剂的投加量,达到经济运行的目的。

## 6 工艺设计

### 6.1 设计规模

该工程设计规模为  $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,综合变化系数  $K$  取值 1.15。

### 6.2 设计污泥负荷

根据《室外排水设计规范》,A<sup>2</sup>O 活性污泥法 BOD<sub>5</sub> 污泥负荷  $0.05 \sim 0.15 \text{ gBOD}_5/(\text{gMLSS} \cdot \text{d})$ ,总氮去除负荷  $\leq 0.05 \text{ gN}/(\text{gMLSS} \cdot \text{d})$ ,污泥龄为 11 ~ 23 d。本工程设计污泥负荷为  $0.07 \text{ gBOD}_5/(\text{gMLSS} \cdot \text{d})$ ,总氮去除负荷为  $0.02 \text{ gN}/(\text{gMLSS} \cdot \text{d})$ ,污泥龄为 12.8 d。

### 6.3 池体设计

缺氧 I 段池及好氧 I 段池容积均为  $16\,500 \text{ m}^3$ ,HRT 分别为 1.9 h;缺氧 II 段池及好氧 II 段池容积均为  $21\,600 \text{ m}^3$ ,HRT 分别为 2.5 h;缺氧 III 段池及好氧 III 段池容积均为  $25\,700 \text{ m}^3$ ,HRT 分别为 3.0 h。池体总容积为  $127\,600 \text{ m}^3$ ,总 HRT 为 14.8 h。各段容积比为 1 : 1.3 : 1.6。

### 6.4 曝气系统设计

曝气系统的充氧量主要考虑四个部分:①氧化 BOD<sub>5</sub> 的必需充氧量;②内源呼吸消耗的必需充氧量;③硝化反应的必需充氧量;④出水带出的必需充氧量。系统的总曝气量设计为  $1\,250 \text{ m}^3/\text{min}$ ,设计气水比为 8.6 : 1。

### 6.5 主要设备参数及控制方式

刚玉球形微孔曝气器 20 692 套;潜水搅拌器 43 台,连续工作,可根据进水流量控制其开停设备台数;内回流用潜水导流泵 14 台(12 用 2 备),变频, $Q = 2\,146 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H = 14.7 \text{ kPa}$ , $P = 25 \text{ kW}$ 。

生化池采用精确曝气控制系统 1 套。各缺氧段末端安装氨氮仪表,用于 DO 前馈控制;好氧 III 末端安装氨氮/硝酸盐仪表,用于内回流 + DO 反馈控制。

## 7 结语

相对于传统的 AO 和 A<sup>2</sup>O 工艺,多级 AO 工艺具有脱氮效果更好更稳定、污泥膨胀情况较少、占地面积相对小、抗冲击负荷能力强、运行管理更方便等优势。由于其采取分段进水方式,可以将碳源合理分配,有效减小水力负荷和 BOD<sub>5</sub> 污泥负荷变化对系统的影响。另外,多段 AO 池串联也减少了硝化液的回流量,理论上脱氮效率只与最后一段内回流量有关,减少了系统的运行成本。目前,该工艺在国内外已经得到广泛应用,建议在污水厂改造与新建工程中推广使用。

## 参考文献:

- [1] 李常留,张兴文,徐鹏飞. 阶段流入式多级 A/O 生物脱氮工艺设计及应用[J]. 环境工程,2010,28(2):45-48.
- [2] 龚正,龙腾锐,曹艳晓,等. 分点进水 A/O 工艺处理低碳源生活污水的脱氮性能研究[J]. 环境工程学报,2011,5(1):85-89.
- [3] 王涛. 多级 A/O 废水处理工艺的理论研究[J]. 环境科学与技术,2003,26(4):8-10.
- [4] 邱慎初,丁堂堂. 分段进水的生物除磷脱氮工艺[J]. 中国给水排水,2003,19(4):32-36.
- [5] 吴淑云,祝贵兵,彭永臻. 分段进水生物脱氮工艺最高脱氮率的探讨[J]. 哈尔滨工业大学学报,2007,39(4):594-598.



作者简介:董洋(1985 - ),男,羌族,四川茂县人,硕士,工程师,第一设计研究院院长助理,从事市政给排水设计工作。

E-mail:hitdongyang@163.com

收稿日期:2017-08-17