

罗芳污水处理厂 MBR 生化段提标改造方案分析

刘 杰, 徐桂淋, 阙添进, 朱 敏, 张学兵
(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081)

摘 要: 为提升流域水环境质量,城市污水处理厂的排放标准不断提高,对污水厂的提标改造势在必行。MBR 工艺因其占地面积小、出水水质稳定,在污水厂提标改造工程中被广泛应用。在应用 MBR 工艺对现有污水处理厂进行提标改造的项目中,如何将现有的二级生化系统改造成适合 MBR 的生化系统即成为这类项目中的重点及难点。结合深圳市罗芳污水厂提标改造工程实例,介绍了将现状氧化沟工艺改造为 AAO 生化池及 BNR(缺氧曝气)生化池两种适合 MBR 生化系统的思路及设计方案,为污水处理厂应用 MBR 工艺进行提标改造提供经验和借鉴。

关键词: MBR 工艺; 氧化沟; 生化系统改造; 缺氧曝气 BNR 工艺; AAO 工艺

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)10-0022-04

Analysis on Upgrading and Reconstruction Scheme of MBR Biological Stage in Luofang Wastewater Treatment Plant

LIU Jie, XU Gui-lin, QUE Tian-jin, ZHU Min, ZHANG Xue-bing
(Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610081, China)

Abstract: For improvement of the water environment quality of the drainage basin, the discharge standards of municipal wastewater treatment plants are continuously improved, so it is imperative to upgrade and reconstruct the wastewater treatment plant. MBR technology is widely used in the upgrading and reconstruction project due to its advantages of small area coverage and stable effluent quality. In the application of MBR technology in the upgrading and reconstruction project, how to transform the existing biological stage to be suitable for MBR become key points and difficulties in such projects. Combined with the example of the upgrading and reconstruction project Luofang Wastewater Treatment Plant in Shenzhen City, this paper introduced the ideas and design scheme of transforming the existing oxidation ditch process into AAO biological tank and BNR (anoxic aeration) biological tank to fit MBR, and provided some experience and reference for the upgrading and reconstruction of the wastewater treatment plant using MBR technology.

Key words: MBR; oxidation ditch; biochemical system transformation; anoxic aeration BNR technology; AAO technology

深圳市罗芳污水处理厂总规模为 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 现状出水满足国家《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 B 排放标准。随着城市水环境治理的深入,其受纳河道水体水质需达到地表水 V 类标准,现状罗芳污水处理厂出水将

无法满足水体环境要求,本次提标改造即将污水厂主要出水指标标准提高至地表水Ⅳ类标准(TN 除外)来满足新的环境要求。

针对污水处理厂的工艺特点及分期情况,罗芳污水处理厂的提标改造确定将二期氧化沟系统改造

为以 MBR 处理工艺为核心的污水处理流程。预处理段需拆除现状细格栅、沉砂池、回流污泥浓缩池及厌氧池来实现。膜系统中的生化段则通过改造氧化沟实现。在水厂的预留地新建 MBR 膜车间及紫外线消毒系统。如何将 T 型氧化沟改造成适合 MBR 工艺的生化段即成为本工程的重点和难点。结合氧化沟的运行特点,对氧化沟改造成 AAO 及 BNR(缺氧曝气)工艺两种思路进行详细的对比,为污水厂提标改造提供新的思路及方案。

1 污水处理厂提标改造方案

1.1 污水处理厂现状

罗芳污水处理厂现状总规模为 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中一期工程为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用 AB 法工艺(B 段为 A/A/O 工艺),二期工程为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用预脱氮-厌氧-T 型氧化沟工艺。罗芳污水处理厂一期工程于 1998 年建成并投入运行,二期工程 2001 年建成并投入运行,现状主管部门采用《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 B 标准考核。近年来由于截污工程及雨污分流工程的实施,污水厂的进水水质超标严重,对照提标工程所需的地表水准Ⅳ类出水水质,现状污水厂出水 COD、BOD₅ 已经满足要求,TN 二期基本满足要求,一期稍差,其余指标需进一步提高。该污水厂现状进、出水水质见表 1。

表 1 污水厂现状进、出水水质

Tab.1 Current influent and effluent quality in WWTP

mg · L ⁻¹						
项 目	COD	BOD ₅	SS	TN	氨氮	TP
设计进水	250~400	150	150	30	—	4.0
平均进水	464	192	502	42	—	4.3
一期平均出水	21.5	2.9	6.8	15.4	4.4	0.5
二期平均出水	17.9	2.3	9.5	6.4	1.0	0.9
考核指标一级 B	60	20	20	20	8(15)	1.0
地表水准Ⅳ类标准(TN 除外)	30	6	6	15	1.5	0.3

1.2 提标改造方案

为了有效应对片区未来发展需要,并复核氧化沟有效容积确定污水厂提标改造规模为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。结合污水厂预留用地情况,将二期氧化沟系统改造为以 MBR 为核心的污水处理流程。预处理段拆除现状细格栅、沉砂池回流污泥浓缩池及厌氧池,并新建细格栅、沉砂池、速沉池及精细膜格栅。膜系统中的生化段通过改造氧化沟实现,MBR 膜车

间及紫外线消毒系统则在水厂的南侧预留地新建。

为了充分利用现有氧化沟,流程设计中以现状氧化沟液位为全厂控制液位。前段预处理部分通过提高进水泵房水泵扬程来满足液位及因增加精细膜格栅和速沉池所增加的水头损失。后端 MBR 膜车间采用泵抽吸出水,故可根据接纳水体洪水位及氧化沟自流排水条件确定扬程以满足水厂流程要求。

现状污水处理厂有 4 座独立运行的氧化沟,单座氧化沟容积为 $42\,500 \text{ m}^3$,有效水深为 6.1 m,共 3 格。经校核,在 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的设计流量下其停留时间可以达到 10.2 h,满足改造为 MBR 生化系统 HRT 为 7~14 h 的条件。为配合 4 座氧化沟独立运行,相应的 MBR 膜车间也分为 4 组,每组膜池分成 6 格,每格膜池内布置 17 个膜箱,配 6 台产水泵、2 台混合液回流泵、2 台反洗水泵、1 台排空泵及 1 台剩余污泥泵。膜池出水通过渠道式紫外线消毒即可达标排放。

为了保证工艺出水稳定达标,需要补充碳源及化学除磷药剂,其中补充碳源的药剂乙酸投加在生化系统的缺氧段,除磷药剂则投加在生化池出水段。污水处理过程中产生的污泥则通过机械浓缩脱水干化后外运处置。污水厂提标改造工程设计进、出水水质见表 2,工艺流程如图 1 所示。

表 2 设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality

mg · L ⁻¹						
项目	COD	BOD ₅	SS	TN	氨氮	TP
进水	502	192	400	42	35	4.3
出水	30	6	6	15	1.5	0.3

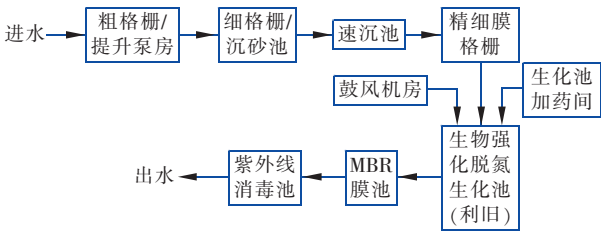


图 1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

在整个改造工艺流程中只有氧化沟是利用现有池体进行改造,如何在尽可能少地改变现有池体的条件下将其改造为适合 MBR 工艺的生化池就是本次提标改造项目中的重点和难点。MBR 膜系统常见的生化段工艺主要有 SBR、A/O、A/A/O 及 A/A/

O 改良工艺。从目前已经建成的工程案例来看,A/A/O 及其改良工艺与 MBR 膜系统结合是最常见的工艺。

2 AAO 工艺改造方案可行性分析

2.1 AAO 工艺设计参数

AAO 工艺是一种典型的除磷脱氮工艺,其生物反应池由 Anaerobic (厌氧)、Anoxic (缺氧) 和 Oxic (好氧) 三段组成。当该工艺用于 MBR 的生化段时,由于膜池回流的混合液富含大量氧气,如果采用膜池硝化液直接回流至缺氧区,会破坏缺氧区的缺氧环境,导致反硝化反应不充分。因此,常见 MBR 生化系统一般采用三段回流,即第一段从膜池回流混合液至好氧区前端,第二段将好氧区末端的硝化液回流至缺氧区前端,第三段将缺氧区末端的反硝化液回流至厌氧区前端。

AAO 生化系统(单组)的主要设计参数如下:设计流量为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,污泥龄为 20 d,污泥负荷为 $0.08 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,污泥浓度厌氧池为 $3 \sim 4 \text{ g/L}$ 、缺氧池为 $6 \sim 7 \text{ g/L}$ 、好氧池为 $7 \sim 9 \text{ g/L}$ 、膜池 $\leq 12 \text{ g/L}$;系统分段水力停留时间厌氧池为 1.5 h、缺氧池为 3.0 h、好氧池为 6.5 h、膜池为 1.0 h;系统回流比膜池→好氧池为 300%、好氧池→缺氧池为 200%、缺氧池→厌氧池为 100%^[1]。MBR 膜池设计膜通量为 $20 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (25°C),产水量为 $200 \sim 1\,000 \text{ L/h}$ 。生化池气水比为 3.6,膜池膜吹扫气水比为 4.0,生化系统总气水比为 7.6。整个 MBR 膜系统剩余污泥总量为 53 tDS/d ,剩余污泥含水率 $\geq 99\%$,剩余污泥体积为 $5\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2.2 AAO 工艺改造方案

根据上述设计参数,为将现状 3 沟式氧化沟改造为 AAO 生化池,需新建隔墙及导流墙对氧化沟进行重新分区以满足厌氧段、缺氧段及好氧段各段水力停留时间的要求。同时为满足 AAO 系统三段回流的要求,需在现状氧化沟内新建好氧-缺氧、缺氧-厌氧污泥混合液回流渠及泵井。整个改造过程对现状氧化沟池体结构改造及影响大,土建改造难度较大。将现状氧化沟系统改造为 AAO 生化池并没有利用现状工艺特点,新建泵井及回流渠,影响现状池体结构,需额外考虑现状池体加固措施。为此,该工程不宜采用 AAO 工艺进行改造,其 MBR 工艺的生化系统应能充分结合现状氧化沟工艺及池型特点,尽量减少土建改造工程量。

3 BNR 工艺改造方案可行性分析

3.1 工艺特点

BNR (Biological Nitrogen Removal, 生物强化脱氮) 工艺诞生于氧化沟工艺,目前应用的工艺形式主要为立环氧化沟,主要用于氧化沟的升级改造。该工艺通过精确控制其生化反应池中各个反应段的运行参数,将生物处理系统改造为具有溶解氧梯度的生化反应池。该工艺的核心思想为:缺氧曝气^[2],即在生化池的厌氧及缺氧段通过引入 ORP 和 DO 控制参数对该段进行精确曝气,使其硝化和反硝化过程同步进行,以实现同时硝化反硝化^[3]。其运行机理是生化池缺氧曝气区域,在宏观上表现缺氧状态条件下,一部分溶解氧用于降解水中的有机物,另一部分溶解氧用于氨氮硝化反应,硝化反应产生的硝酸盐及亚硝酸盐在缺氧条件下又发生反硝化反应。

BNR (缺氧曝气) 工艺一般将生化系统分成三段来控制运行。具体如下:第一段保持厌氧/缺氧曝气状态,控制反应池内的 DO 浓度为零,在此区内除进行有机物的降解外,还同时发生硝化反应和反硝化反应。第二段仍保持缺氧曝气状态,反应池内的 DO 控制在 0.5 mg/L 左右,进一步去除有机物和进行硝化反硝化反应,第三段保持池内 DO 在 $1 \sim 2 \text{ mg/L}$,可以作为好氧反应的精处理区,保证生化系统的出水水质。

实际运行控制中在厌氧、缺氧段会引入 ORP 参量对系统的溶解氧进行精确控制,本项目在每条沟的曝气主管上设置电动调流阀及空气流量计,第一条沟中设置 ORP 分析仪,第三条沟中设置 DO 溶解氧分析仪,第二条沟则设置 ORP 分析仪及 DO 溶解氧分析仪同时监控。PLC 控制系统由一个主控站及若干个现场控制箱、溶解氧及气量转换逻辑算法和流量计阀门控制算法、热质气体流量计及脉冲电动调节阀组成。PLC 控制系统基于每条沟 ORP 及 DO 控制空气主管的阀门开度,进而实现三条沟溶解氧的精确控制,满足系统运行要求。

3.2 BNR 工艺设计参数

MBR 生化系统设计水量为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,共分 4 个系列,单座设计水量变化系数 $K = 1.15$;总容积为 $17 \times 10^4 \text{ m}^3$,单系列容积为 $42\,500 \text{ m}^3$,有效水深为 6.1 m ,单座尺寸为 $115 \text{ m} \times 20.3 \text{ m} \times 6.77 \text{ m}$,共 3 格,现状氧化沟可满足设计停留时间(均日流量下

停留时间为 10.2 h, 峰值流量下停留时间为 8.9 h; 最低水温为 15 ℃, BNR 系统设计泥龄为 12 d, 剩余污泥产量为 124 tDS/d, 生化池 MLSS 为 8 800 mg/L; 鼓风机气量为 178 000 m³/h, 生化池气水比约为 9.3, 系统仅设置膜池→缺氧区的单级回流, 回流比为 400%。配套 MBR 膜系统设计通量为 24.74 L/(m²·h), 最大跨膜压差为 0.055 MPa, 膜擦洗气水比约为 4.8。MBR 膜系统每周采用次氯酸钠(200 mg/L)及柠檬酸(2 000 mg/L)进行 2 次维护性清洗, 清洗时间为 60 min, 每年需采用次氯酸钠(1 000 mg/L)及柠檬酸(2 000 mg/L)进行 2 次恢复性清洗, 清洗时间为 6 h。

3.3 BNR 工艺改造方案

由于 BNR 系统池型要求与现状氧化沟池型一致, 将现状氧化沟改造为 BNR 工艺的生化系统, 可保留现状氧化沟主要结构设施, 仅需在池体内部新建进、出水渠及过流孔。为实现缺氧曝气需在氧化沟顶部修建曝气管及精确曝气控制器, 池底安装微孔曝气器。同时, 在池体的适当位置安装潜水推流器, 使整个生化池各段形成完全混合的流态。在实际运行中, 通过精确曝气将原有的三格氧化沟分为厌氧/缺氧段、缺氧段及好氧段, 以满足 BNR 工艺的运行要求。在整个生化池改造中, 原氧化沟内不需要设置污泥回流泵井及回流渠, 可减少新建设施对原有池体的影响。

将现状氧化沟系统改造为 BNR 工艺的生化系统, 充分利用了现状氧化沟工艺及池型特点, 改造方案仅需拆除现状转刷曝气器及出水堰, 新设置微孔曝气器、推流器、进出水堰及闸门, 土建工程量少, 是一种比较适合氧化沟提标改造的工艺方案。

4 结论与建议

① 在利用 MBR 工艺对污水处理厂进行提标改造的项目中, MBR 膜池及膜车间通常是新建, 如何利用现状污水二级处理设施即成为此类项目的重点及难点。

② 罗芳污水厂现状处理工艺为氧化沟, 完全可以通过技术措施将其改造为适合 MBR 系统的生化系统, 进而实现污水厂提标改造的目的。

③ 相对于将现状氧化沟改造为 AAO 生化池, 运用缺氧曝气理论将其改造为 BNR(缺氧曝气)生化系统, 充分利用氧化沟系统的池型, 土建工程量少, 可为此类污水厂提标改造提供经验。

参考文献:

- [1] 杨巍, 李彦龙. 城镇污水处理厂 MBR 工艺设计探讨[J]. 中国高新技术企业, 2016, (14): 79-80.
Yang Wei, Li Yanlong. Design of membrane bio-reactor (MBR) used in municipal sewage treatment plant[J]. China High-tech Enterprises, 2016, (14): 79-80 (in Chinese).
- [2] 刘保成, 李峥, 安丽. 缺氧曝气+絮凝沉淀+压力曝气工艺在垃圾渗滤液处理中的应用[J]. 天津科技, 2011, (4): 23-24.
Liu Baocheng, Li Zheng, An Li. Application of anoxic aeration + flocculation precipitation + pressure aeration process in landfill leachate treatment[J]. Tianjin Science & Technology, 2011, (4): 23-24 (in Chinese).
- [3] 袁林江, 彭党聪, 王志盈. 短程硝化-反硝化生物脱氮[J]. 中国给水排水, 2000, 16(2): 29-31.
Yuan Linjiang, Peng Dangcong, Wang Zhiying. Biological nitrogen removal by shortcut nitrification-denitrification [J]. China Water & Wastewater, 2000, 16(2): 29-31 (in Chinese).



作者简介: 刘杰(1985-), 男, 湖南新邵人, 硕士, 工程师, 主要从事市政给排水设计工作。

E-mail: liusiheng1985@163.com

收稿日期: 2017-11-12