

MBBR 及 A²/O 五段法用于污水处理厂提标扩建

陈小燕

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

摘要: 呼和浩特某污水处理厂总设计规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 分三期建设。已建一期工程设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、二期工程设计规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 生物处理采用 A/O 除磷工艺, 出水水质执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 二级排放标准。本期提标扩建工程将出水水质提升至《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准, 总规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 包括改建、扩建两部分, 改建工程规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 将原 A/O 池改建为改良 A²/O + 移动床生物膜 (MBBR) 构筑物, 扩建工程规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 采用改良 A²/O (五段) 工艺, 并新建 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 深度处理段 (采用高效沉淀池、微滤机工艺)。实际运行结果表明, 出水水质全部达到一级 A 标准。

关键词: 提标改造; MBBR; 改良 A²/O (五段)

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)12-0059-04

Application of MBBR and Five-stage A²/O in the Upgrading and Reconstruction of Urban Wastewater Treatment

CHEN Xiao-yan

(North China Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: The design capacity of a wastewater treatment plant in Hohhot is $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The construction process was divided into three phases, and two phases have been finished. The design capacity of the first and second phase projects is respectively $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ and $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The A/O for phosphorus removal was adopted in the biological treatment process; The effluent quality was required to meet the secondary level standard in *Integrated Wastewater Discharge Standard* (GB 8978 - 1996). The requirement of effluent quality of the upgrading and expansion project is enhanced to the first level A standard in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002), and the design capacity is $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. This project included reconstruction and expansion, the reconstruction project treatment capacity is $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, original A/O tank was modified into A²/O + moving bed biofilm reactor (MBBR); The expansion project treatment capacity is $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and modified A²/O (five-stage) was adopted. Furthermore, the advanced treatment stage (efficient sedimentation tank and microfiltration machine) with capacity of $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ was built in the project. Actual operation results showed that effluent quality reached the first level A standard.

Key words: upgrading and reconstruction; MBBR; modified A²/O (five-stage)

1 工程概况

呼和浩特某污水处理厂总设计规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 一期工程设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 2000 年

投产运行, 2006 年建设二期工程, 设计规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 2009 年投产运行, 生物处理采用 A/O 除磷工艺, 出水水质执行《污水综合排放标准》(GB

8978—1996)二级排放标准。2015年进行提标扩建,将出水水质提标至《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。提标工程总规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,包括改建、扩建两部分,一、二期改建工程规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用改良 A^2/O +移动床生物膜(MBBR)工艺;新建工程规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用改良 A^2/O (五段)。深度处理段规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用混凝+絮凝+沉淀+微滤(高效沉淀池+微滤机)工艺。

污水处理厂总设计规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分为4个生物处理系列,每个系列处理规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

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

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$						
项目	BOD_5	COD	SS	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TN	TP
进水	150	350	180	40	50	4.5
出水	10	50	10	5(8)	15	0.5

2 生物池工艺设计

生物池设计进水水质考虑初次沉淀池对各种水质指标去除和生物池投加碳源乙酸钠后 BOD_5 增加量,设计进水 BOD_5 、SS、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP分别为143、132、40、47、4.3 mg/L。

2.1 MBBR生物池改造工艺设计

改造生物池方案为不增加生物池容积,尽量保持原有池型及工艺,尽可能减少改造土建工程量。

提出了采用新型悬浮生物填料与原有生物处理工艺相结合的MBBR生物处理新工艺,以最大限度地减少对原有设施的影响,减少对已建构筑物的土建改造及改造期间的停水时间,保证污水厂的正常运行。

2.1.1 生物池改造

原 A/O 生物池采用普通曝气法,在曝气池的前端设有一厌氧段,总有效容积为 $31\,170 \text{ m}^3$,将该工艺改造为改良 A^2/O +移动床生物膜(MBBR)工艺。根据现状情况对原池内分区进行调整,需增大缺氧池容积,将原好氧池部分容积改为缺氧池,原好氧池部分容积投加生物填料;在非曝气段增加搅拌器,在好氧段增加穿孔曝气管和填料,同时在填料区增加推进器。

改造后生物池平面布置详见图1。

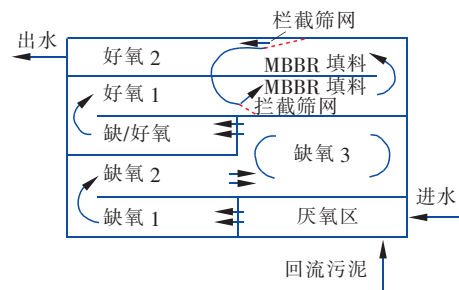


图1 改造后生物池平面布置

Fig.1 Plan of reform biological tank

单座生物池改造后的设计参数:设计规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,生物池变化系数为1.15,生物池设计流量为 $2\,396 \text{ m}^3/\text{h}$ 。计算温度为 10°C ,总泥龄为20 d,其中厌氧1.5 d、缺氧6.72 d、好氧11.78 d(包括缺氧/好氧)。平均混合液MLSS为 $3\,800 \text{ mg/L}$,污泥负荷为 $0.061 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,容积负荷为 $0.232 \text{ kgBOD}_5/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,剩余污泥产率为0.88 kgDS/kgBOD₅,剩余污泥量为 $6\,293 \text{ kgSS/d}$,计算总容积为 $35\,429 \text{ m}^3$ 。重新分配池容后厌氧区池容为 $2\,509 \text{ m}^3$,缺氧区池容为 $12\,295 \text{ m}^3$,缺氧/好氧区池容为 $3\,262 \text{ m}^3$,好氧区1池容为 $2\,621 \text{ m}^3$,好氧MBBR区池容为 $7\,862 \text{ m}^3$,好氧区2池容为 $2\,621 \text{ m}^3$ 。按平均流量计停留时间为14.96 h,其中厌氧1.2 h、缺氧5.9 h、好氧7.86 h。好氧MBBR区投加填料 $2\,752 \text{ m}^3$ 。日均供气量为 $15\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。外回流比为50%~100%(可调),内回流比为300%。增加混合液回流污泥泵5台(4用1备), $Q=1\,563 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=11 \text{ kPa}$, $N=10 \text{ kW}$ 。

生物池池体改造:①将第一廊道好氧区、第二廊道好氧区、第三廊道后部分好氧区改成缺氧区,增设水下搅拌器。②将第三廊道前部分改造为好氧或缺氧区,增设水下搅拌器,根据需要可按好氧或缺氧运行。③将好氧区第四及第五廊道部分区域改为MBBR填料区,采用增设弧形导流墙、设置侧向平板出水筛网、设置水下推流器、增设穿孔曝气管的方法,使悬浮生物填料在区域内形成循环流动。④为安装及维修方便,在增设的水下推流器处,设置钢制平台或走道桥。⑤填料区增设的穿孔曝气系统自原DN350空气主管接入,每池2根DN350管明装在原有空气管廊一侧上方。⑥在每池出水端各增加混合液内回流泵2台,混合液回流至第一廊道缺氧区。⑦在每池的缺氧区中后部新设置碳源投加点,根据需要投加碳源。⑧对原有盘式微孔曝气系统部分改

造,更换或补充曝气器。

2.1.2 MBBR 填料投加量计算

① 按照污泥总量相等计算填料投加量

计算生物池池容为 35 429 m³,原生物池池容为 31 170 m³。计算过程:

未投加填料好氧池污泥量(不包括缺氧/好氧区) = 17 362 m³ × 3.8 g/L = 65 975.6 kg。

投加填料后好氧池容积 = 65 975.6 / { (1 - 0.6) × 3.8 + (35/100 × 500 × 12/1 000 + 3.8) × 0.6 } = 13 038.6 m³,与好氧池池容 13 104 m³ 基本相等。

投加填料区的容积 = 13 104 × 0.6 = 7 862.4 m³。

未投加填料区的容积 = 13 104 - 7 862 = 5 242 m³。

投加填料后好氧池容积削减 = 17 362 - 13 104 = 4 258 m³。

削减体积占计算好氧池的比例 = 4 258/17 362 = 24.5%。

削减的体积占计算总池容比例 = 4 258/35 429 = 12%。

填料投加量 = 13 104 × 0.6 × 35/100 = 2 751.8 m³。

投加填料后的容积 = 13 104 + 2 509 + 12 295 + 3 262 = 31 170 m³。

其中填料有效比表面积为 500 m²/m³(依厂家、型号不同而定)。单位填料比表面积污泥量为 12 gMLSS/m²(依厂家、型号不同而定)。

② 按照氨氮去除量计算填料投加量

计算如下:平均硝化率 = 0.6 × 500 = 300 gNH₃-N/(m³·d) = 12.5 gNH₃-N/(m³·h)。

其中填料平均氨氮表面去除负荷为 0.6 gNH₃-N/(m²·d) = 0.025 gNH₃-N/(m²·h)(依厂家、型号不同而定)。填料有效比表面积为 500 m²/m³(依厂家、型号不同而定)。

填料氨氮的去除比例为 0.4。

氨氮去除量 = (40 - 5) × 50 000 × 0.4 = 700 000 g/d。

投加填料 700 000/300 = 2 333 m³。

③ 二种计算结果比较

填料投加量取 2 752 m³。

2.2 新建生物池工艺设计

新建工程采用 A²/O 五段法。根据污水处理厂

预留用地范围,新建生物池采用较低的混合液浓度,达到投资低、运行简单的目标,并在池型布置上为今后提标改造考虑。新建生物池平面布置见图 2。

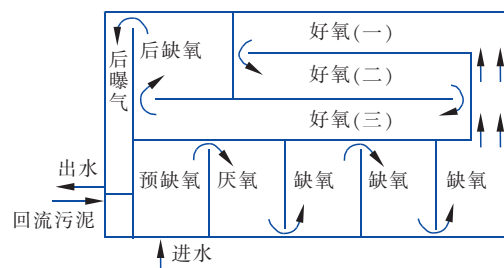


图 2 新建 A²/O 五段法生物池平面布置

Fig. 2 Plan of modified A²/O biological tank

生物池:设计规模为 5 × 10⁴ m³/d,生物池变化系数为 1.15,生物池设计流量为 2 396 m³/h。计算温度为 10 ℃,总泥龄为 20 d,其中预缺氧 1.62 d、厌氧 1.62 d、缺氧 4.87 d、好氧 8.97 d、后缺氧 1.87 d、后好氧 1.05 d。平均混合液 MLSS 为 3 500 mg/L,污泥负荷为 0.061 kgBOD₅/(kgMLSS·d),容积负荷为 0.214 kgBOD₅/(m³·d),剩余污泥产率为 0.87 kgDS/kgBOD₅,剩余污泥量为 6 221 kgSS/d。总容积为 37 247 m³,其中预缺氧区 3 021 m³、厌氧区 3 021 m³、缺氧区 9 036 m³、好氧区 16 698 m³、后缺氧区 3 481 m³、后好氧区 1 964 m³。按平均流量设计停留时间为 17.88 h,其中预缺氧 1.45 h、厌氧 1.45 h、缺氧 4.35 h、好氧 8.02 h、后缺氧 1.67 h、后好氧 0.94 h。日均供气量为 15 000 Nm³/h。外回流比为 50% ~ 100%(可调),内回流比为 300%。混合液回流污泥泵 4 台(3 用 1 备),Q = 2 080 m³/h,H = 11 kPa,N = 10 kW。

生物池布置具有运行的可靠性和灵活性,运行模式多样,厌氧、缺氧、好氧区停留时间可调,多点进水,污泥回流、混合液内回流位置可调,体现了一池多工艺、多工况的特点。

今后若出水水质提标至《地表水环境质量标准》(GB 3828—2002) V 类水标准(TN ≤ 10 mg/L),可通过在好氧区及缺氧区增加填料,形成 MBBR 生物池,强化二级生物处理脱氮功能,以满足 BOD₅、NH₃-N 及 TN 的出水要求。

3 运行效果

本工程于 2015 年 12 月底通水,对 2016 年 1 月—12 月实际进水资料进行了分析,结果见表 2。可见,污水厂实际进水水质在 85% 概率时 SS 略低

于设计进水水质,其余指标接近设计值;污水处理厂经过一年多通水运行,生物池出水 $BOD_5 \leq 10 \text{ mg/L}$, $NH_3 - N \leq 5 \text{ mg/L}$,投加乙酸钠碳源时 $TN \leq 15 \text{ mg/L}$;总出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准(见表3)。

表2 污水厂2016年进水水质

Tab.2 Influent quality in 2016

项 目	$BOD_5 /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$COD /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$SS /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$NH_4^+ - N /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$TP /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH 值
90% 概率	125.56	332.18	119.83	28.67	4.14	7.07
85% 概率	122.14	321.59	109.29	26.95	3.88	7.04
80% 概率	119.48	313.42	101.57	25.66	3.68	7.01
75% 概率	117.25	306.57	95.39	24.61	3.52	6.99
70% 概率	115.28	300.55	90.16	23.69	3.38	6.97

表3 污水厂2016年平均出水水质

Tab.3 Average effluent quality in 2016

项 目	BOD_5	COD	SS	$NH_4^+ - N$	TN	TP
2016 年平均值	8	47	10	3.17	13.5	0.49

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

4 设计中应注意的问题

① 使用成熟的整套填料设备。填料、混合设施(曝气或潜水混合),出水装置(各种形式的筛网)是 MBBR 正常运行的主要环节。选择密度接近于水、轻微搅拌下易于随水自由运动的生物填料,填料具有有效比表面积大、适合微生物附着生长的特点。混合设备包括曝气和搅拌器,曝气设备选用中孔穿孔管,搅拌器保证填料的流化状态。出水装置拦截筛网避免填料流失、粘附。

② 生化池池体形状决定拦截筛网形式。根据生物池池型,拦截筛网分为2种,平板式和滚筒式筛网。使用平板式筛网填料区由于其水力流态呈现混合和推流,会引起池体的磨损。所以在填料区混凝土池壁贴1 mm厚的不锈钢板,水下2 m,水上0.3 m。

③ 曝气系统。在生化池好氧段 MBBR 区域布置好氧微孔曝气器和保证填料流化的中孔穿孔管,二者在每个曝气廊道布置2根空气总管分别供给曝气头和穿孔管,切不可完全采用穿孔管,因为微孔曝气头传氧效率大于穿孔管,否则引起鼓风机气量增大,浪费电量。在空气量分配时微孔曝气头保证好氧所需空气量,穿孔管保证流化状态气量。在拦截筛网周围、池体四角布置穿孔管,以防止填料堆

积。

④ 填料填充率。填料填充率须小于45%,填充率过高会影响填料的流化状态,填料表面附着的生物膜也生长缓慢,处理效果和填充率不成比例。

⑤ 新建污水系统考虑提标需要。污水处理厂建设需要考虑近期、远期排放标准的不断提高。MBBR 工艺的悬浮填料可以在不同的填充率范围补投,也可以更换更大填料以实现更大的负荷,可以实现分批式的提标改造,一次建设,分批升级。前期确定好工艺路线,后面就仅需要进行填料的补充就可以满足提标需求。

5 结语

MBBR 工艺适用性强、应用范围广。实际工程应用表明,MBBR 工艺具有新建生物系统占地省,老系统提标改造较简单、解决氨氮超标问题,高浓度及难降解有机物好氧预处理效果好等方面的优势。

参考文献:

- [1] 刘轩,王艳兵,牛弈娜,等. 污水处理工程设计中碳源投加计算方法及应用实例[J]. 广东化工,2013,40(11):141-142.
- [2] 韩萍,许斌,宋美芹,等. 团岛污水厂 MBBR 工艺的升级改造及运行效果[J]. 中国给水排水,2014,30(12):110-114.
- [3] 孟涛,刘杰,杨超,等. MBBR 工艺用于青岛李村河污水处理厂升级改造[J]. 中国给水排水,2013,29(2):59-61.



作者简介:陈小燕(1963—),女,山西寿阳人,大本,高级工程师,主要从事给排水工程设计工作。

E-mail:2470748260@qq.com

收稿日期:2017-02-07