

短流程工艺用于污水处理厂升级改造的试验研究

邵辉煌¹ 方先金¹ 张 韵¹ 耿伟² 黄 晨² 盛铭军²

(1 北京市市政工程设计研究总院, 北京 100082; 2 苏州市排水管理处, 苏州 215001)

摘要 针对新建、改(扩)建污水处理厂占地面积受限的实际情况,以污水处理厂出水水质提标为目标,提出 MBR 工艺、强化生物脱氮+磁分离工艺、强化生物脱氮+微絮凝工艺三种短流程提标工艺,并通过中试和生产性试验,探讨短流程提标工艺的可行性。试验结果表明,三种工艺出水水质均能够稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,与传统活性污泥法+传统深度处理工艺比较,其水力停留时间更短,缩短了工艺流程。在此基础上,还进行了三种工艺的技术经济分析。

关键词 污水处理厂 升级改造 短流程 MBR 强化生物脱氮 深度处理 磁分离 微絮凝

Experimental study on the application of short process in the wastewater treatment plant upgrading reconstruction

Shao Huihuang¹, Fang Xianjin¹, Zhang Yun¹, Ding Yongwei², Huang Chen², Sheng Mingjun²

(1. Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute, Beijing 100082, China;
2. Suzhou Municipal Drainage Administration, Suzhou 215001, China)

Abstract: Based on the area limitation of the construction and reconstruction of the wastewater treatment plant and the goal to improve the effluent quality, three short processes—MBR, combination of advanced bio-denitrification and magnetic separation, combination of advanced bio-denitrification and micro-coagulation, were put forward to improve processing technique standards, and the possibilities of these short processes were discussed by pilot experiments and production experiments. The results showed that all short processes could all steadily satisfy the first grade A standard in *Discharge standard of pollutants for municipal wastewater treatment plant* (GB 18918—2002). Compared with the combination of traditional activated sludge process and conventional advanced process, the hydraulic retention time was shorter, the processes were simplified. Based on the technical analysis, the economical technical analysis of these short processes were also carried out.

Keywords: Wastewater treatment plant; Upgrading reconstruction; Short process; MBR; Advanced bio-denitrification; Advanced treatment; Magnetic separation; Micro-coagulation

太湖流域是国家确定的“三河三湖”水污染防治重点。根据太湖流域现有环境容量和国务院关于太湖流域治理的要求,尾水排入太湖流域的已建污水处理厂必须进行脱氮除磷提标改造,出水 N、P 指标必须达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 A 标准^[1]。大量的已建污水处理厂面临提标改造,仅苏锡常地区就有 169 座污水处

理厂急需升级改造或新(扩)建。然而,传统活性污泥法构筑物占地面积较大,许多已建污水处理厂占地面积受限,给提标改(扩)建带来了困难。为此,迫切需要高效省地的短流程工艺解决上述问题。

1 短流程提标技术路线及短流程工艺的选择

1.1 短流程提标技术路线

目前,我国城镇污水处理厂以二级生物处理技

术为主,多数采用传统活性污泥法,如氧化沟、 A^2/O 、SBR 工艺等。大量的工程应用表明,以二级生物处理技术为核心的污水处理厂对有机污染物有较好的处理效果,但不同污水处理厂对 N、P 的处理效果差异较大,多数污水处理厂出水 N、P 只能达到一级 B 标准,很难同时达到一级 A 标准。

在污水生物处理系统中,脱氮和除磷所要求的运行条件存在差异,生物脱氮要求延长泥龄,减少系统的污泥排放,生物除磷则要求缩短泥龄,增大污泥排放量。而且,在深度处理时,脱氮仍然使用生物技术,而除磷的技术较多。因此,为了使采用二级生物处理技术的污水处理厂出水 C、N、P 同时稳定达到一级 A 标准,在提标改造或新(扩)建污水处理厂时,存在两种可供选择的短流程工艺提标技术路线。第一种技术路线:采用先进的短流程污水处理工艺,提升生物处理系统的去碳、脱氮除磷能力,使出水 C、N、P 直接达到一级 A 标准。第二种技术路线:在传统的二级生物处理系统中强化生物脱氮,使出水 N 指标稳定达到一级 A 标准,再在后面采用短流程深度处理技术,使出水 P 指标达到一级 A 标准,最终实现出水 C、N、P 达到一级 A 标准。

1.2 短流程工艺的选择

膜生物反应器(MBR)利用膜组件强制实现泥水分离^[2],增加了生物池中污泥浓度,提高了容积负荷,且不需要设置二沉池,与传统活性污泥法比较,大大缩短了 HRT。在 MBR 工艺前端设置 A 池(含缺氧池和厌氧池),通过混合液回流,能够达到脱氮除磷的效果,辅以化学除磷,MBR 工艺出水 C、N、P 能够同时达到一级 A 标准,因此,与传统活性污泥法比较,MBR 工艺不需要后续深度处理,出水水质直接达到一级 A 标准,缩短了工艺流程。

采用传统活性污泥法的污水处理厂在提标改造工程中,一般在已建二级生物处理设施后面增加深度处理单元,但工程实践表明,多数污水处理厂出水 TN 仍然难于稳定达到一级 A 标准。为此,提出在二级生物处理厂强化生物脱氮,通过延长泥龄、增加缺氧池的 HRT 等,使出水氮指标稳定达到一级 A 标准,然后在深度处理单元除磷,并提高出水水质,使得最终出水水质全面达到一级 A 标准。在深度处理单元可选择 HRT 较短的磁分

离技术和微絮凝过滤技术^[3,4],与传统混凝沉淀过滤技术比较,磁分离技术省略了滤池,而且沉淀池表面负荷高、沉淀时间短,能够缩短工艺流程;微絮凝过滤技术省略了沉淀池,而且絮凝时间短,能够缩短工艺流程。

MBR 工艺是新型高效的短流程工艺,符合第一种短流程提标技术路线,适用于新(扩)建污水处理厂。强化生物脱氮+磁分离工艺、强化生物脱氮+微絮凝过滤工艺是针对已建污水处理厂提标改造需要提出的短流程工艺,符合第二种短流程提标技术路线,适用于已建污水处理厂的改(扩)建。

2 试验装置与方法

2.1 试验装置

MBR 工艺中试装置为倒置 A^2/O 型 MBR,生物反应器由缺氧池、厌氧池、好氧池组成,膜组件设置在好氧池内。反应器总尺寸为 $2.5\text{ m} \times 1\text{ m} \times 2.2\text{ m}$,有效高度为 2 m 。采用 PE 中空纤维膜。

强化生物脱氮生产性试验在苏州娄江污水处理厂进行,处理规模 $6\text{ 万 m}^3/\text{d}$,采用 UNITANK 工艺,其处理单元共分 4 组,每组由 3 格相互连通的生化池(2 格边池和 1 格中池)组成。每格边池 HRT 5.76 h ,中池 HRT 5.14 h ,总 HRT 16.66 h 。选择其中的一组进行生产性试验。

磁分离中试装置为北京某公司提供的车载试验装置,处理规模为 $480\text{ m}^3/\text{d}$,该装置外形尺寸 $6\text{ m} \times 2.4\text{ m} \times 2.6\text{ m}$,包括混合池、絮凝池、沉淀池、水力旋流器。

微絮凝过滤中试试验装置共设 3 根滤柱,每根滤柱内径 0.28 m ,高 5 m 。滤料粒径为 $0.8 \sim 1.2\text{ mm}$,不均匀系数 < 1.4 ,符合均质滤料的条件。试验采用的石英砂粒径较大,属于粗砂,应适当增加滤料层厚度,取 1.3 m 。

2.2 试验方法

MBR 中试在苏州市城东污水处理厂进行,污水处理厂进水为城市生活污水,试验原水取自该厂曝气沉砂池,经 1 mm 细格栅后进入 MBR 试验装置,试验原水水质见表 1^[5]。试验自 2008 年 4 月开始,2009 年 3 月结束,经历了整个夏季和冬季,本文仅介绍冬季低温季节的试验结果,试验工况的主要运行条件见表 2。

表 1 MBR 试验原水水质

项目	COD _{Cr} /mg/L	BOD ₅ /mg/L	SS /mg/L	TN /mg/L	NH ₃ -N /mg/L	TP /mg/L
数值	154~ 639	43~ 254	87~ 405	18~ 38	13~ 23	1.9~ 7

表 2 MBR 试验工况主要运行条件

项目	水温 /℃	HRT /h	V _A 池: V _O 池	MLSS /g/L	回流比 /%	DO /mg/L
数值	9~ 13	10	4: 6	7.5~ 8.5	200~ 300	0.7~ 2

娄江污水处理厂与城东污水处理厂水源相同,因此,强化生物脱氮试验原水与 MBR 试验原水类似。通过缩短运行周期、延长泥龄、提高溶解氧浓度、增加进水初期缺氧搅拌和沉淀前闷曝,创造有利于生物脱氮的运行条件,降低出水 NH₃-N 和 TN,使得出水氮指标达到一级 A 标准。

磁分离和微絮凝过滤深度处理中试试验在娄江污水处理厂进行,试验原水取自娄江污水处理厂强化生物脱氮后的出水,深度处理试验原水水质(即强化生物脱氮后出水水质)见表 3。

表 3 深度处理试验原水水质

项目	COD _{Cr} /mg/L	BOD ₅ /mg/L	SS /mg/L	TN /mg/L	NH ₃ -N /mg/L	TP /mg/L
数值	18~ 35.9	3.24~ 9.13	7~ 14	7.94~ 14.1	1.93~ 4.09	0.6~ 1.42

3 试验结果与分析

3.1 MBR 工艺

试验共进行了 12 d,试验中没有投加化学药剂除磷,试验结果见图 1~ 图 3。

由图 1 可知,对进水 COD_{Cr} 为 216~ 639 mg/L、BOD₅ 为 43~ 210 mg/L 的城市生活污水,当 HRT=10 h 时,在冬季低温季节,出水 COD_{Cr} 稳定运行在

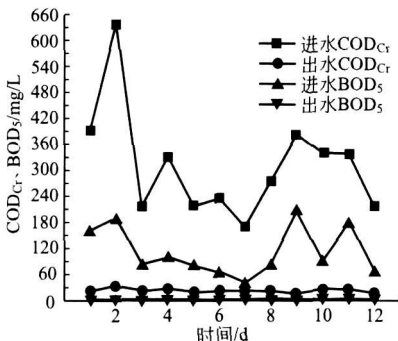


图 1 进出水 COD_{Cr}、BOD₅ 变化曲线

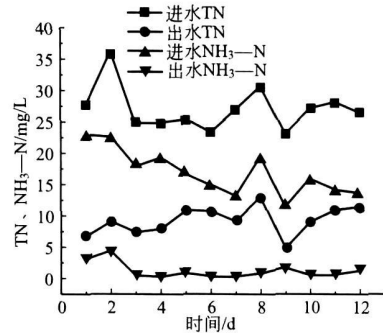


图 2 进出水 TN、NH₃-N 变化曲线

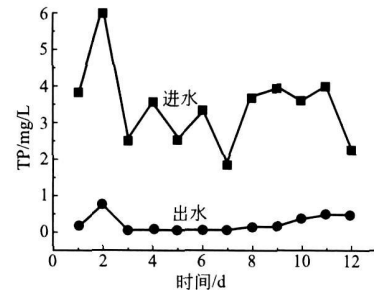


图 3 进出水 TP 变化曲线

30 mg/L 以下、BOD₅ 稳定运行在 6 mg/L 以下,优于一级 A 标准,达到了地表水 IV 类水体的要求。由图 2 可知,出水 TN 为 7~ 13 mg/L,稳定达到了一级 A 标准。出水 NH₃-N 基本在 1.5 mg/L 以下,优于一级 A 标准,基本达到了地表水 IV 类水体的要求。只有试验刚开始两天出水 NH₃-N 偏高,分别为 2.91 mg/L 和 4.34 mg/L,原因是系统 DO 较低(< 1 mg/L),影响了硝化菌的活性,从第 3 天开始,控制 DO 在 1 mg/L 以上,出水 NH₃-N 迅速降低,稳定在 1.5 mg/L 以下。由图 3 可知,在没有投加化学药剂除磷的情况下,出水 TP 为 0.04~ 0.48 mg/L,但第 2 天出水 TP 偏高,为 0.75 mg/L。在冬季低温季节,出水 TP 基本达到了一级 A 标准,达标率为 91.7%,为保证出水 TP 稳定达到一级 A 标准,应设置化学除磷设施。

MBR 工艺 HRT 为 10 h,而采用传统活性污泥法脱氮除磷,HRT 一般在 18 h 以上,因此可知,采用 MBR 工艺能够缩短工艺流程。

3.2 强化生物脱氮

娄江污水处理厂强化生物脱氮前出水水质见表 4。由表 4 可知,在强化生物脱氮前,娄江污水处理

厂出水水质总体上接近一级 B 标准, 没有达到一级 A 标准, 主要问题是出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP、SS 偏高。

表 4 强化生物脱氮前出水水质

COD_{Cr} / mg/L	BOD_5 / mg/L	SS / mg/L	TN / mg/L	$\text{NH}_3\text{-N}$ / mg/L	TP / mg/L
25.9~41.2	4.4~13	10~17	10.8~18	4.5~10.1	0.4~1.3

由表 3 可知, 在强化生物脱氮后, 娄江污水处理厂出水水质总体上接近一级 A 标准, 但出水 SS、TP 偏高, 没有全面达到一级 A 标准。

比较表 3、表 4 可知, 经过强化生物脱氮, 娄江污水处理厂硝化、脱氮的能力明显提高, 出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 从 4.5~10.1 mg/L 下降至 1.93~4.09 mg/L, 出水 TN 从 10.8~18 mg/L 下降至 7.94~14.1 mg/L, 出水氮指标全面达到了一级 A 标准。经过强化生物脱氮, 娄江污水处理厂出水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS、TP 均得到了一定程度的改善, 其中, COD_{Cr} 、 BOD_5 能够稳定达到一级 A 标准, 但 SS、TP 不能稳定达到一级 A 标准, 因此, 为使传统二级生物处理工艺出水水质全面达到一级 A 标准, 需要进行深度处理。

3.3 磁分离技术

试验结果见图 4、图 5。由图 4、图 5 可知, 娄江污水处理厂强化生物脱氮出水经磁分离技术深度处理后, $\text{TP} < 0.5 \text{ mg/L}$ 、 $\text{SS} < 10 \text{ mg/L}$, 出水水质全面达到了一级 A 标准。而且, 磁分离技术对 COD_{Cr} 、 BOD_5 也有不错的去除效果, 能够进一步提高出水水质, 但是对 TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果较小。因此, 采用磁分离技术进行深度处理需要前置强化生物脱氮。

磁分离车载试验装置混合池有效容积为 0.158 m^3 , 絮凝池有效容积为 2.04 m^3 , 沉淀池有效容积为 1.04 m^3 , 总有效容积为 3.238 m^3 , 当进水量为 $480 \text{ m}^3/\text{d}$ 时, HRT 为 9.71 min。而传统混凝沉淀过滤的 HRT 一般不小于 20~25 min, 因此, 采用磁分离技术能够缩短深度处理工艺流程。

3.4 微絮凝过滤技术

试验结果见图 6、图 7。由图 6、图 7 可知, 娄江污水处理厂强化生物脱氮出水经微絮凝过滤技术深度处理后, $\text{TP} < 0.5 \text{ mg/L}$ 、 $\text{SS} < 10 \text{ mg/L}$, 出水水质全面达到了一级 A 标准。而且, 微絮凝过滤技术对 COD_{Cr} 、 BOD_5 也有不错的去除效果, 能够进一步提

高出水水质, 但对 TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果有限。因此, 采用微絮凝过滤技术进行深度处理需要前置强化生物脱氮。

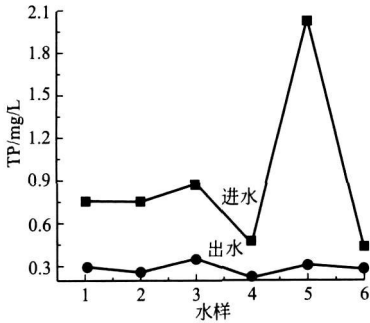


图 4 进出水 TP 变化曲线

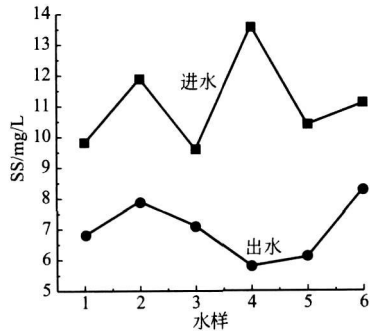


图 5 进出水 SS 变化曲线

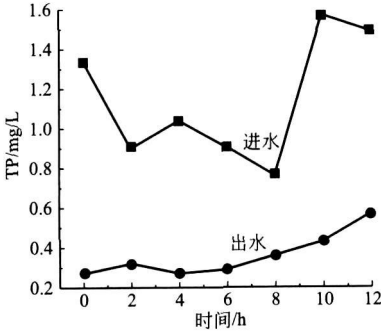


图 6 进出水 TP 变化曲线

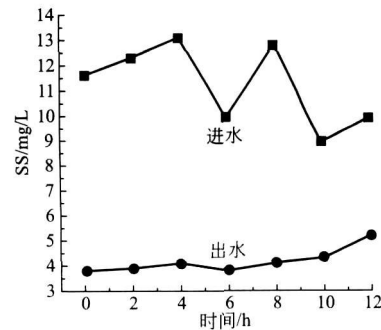


图 7 进出水 SS 变化曲线

表 5 三种短流工艺的主要技术经济指标

项目	MBR 工艺	UNITANK 强化生物脱氮+ 磁分离工艺	UNITANK 强化生物脱氮+ 微絮凝过滤工艺
推荐工艺参数	总 HRT = 9~ 12 h, 好氧池 HRT = 5~ 7 h, 缺氧池 HRT = 2~ 3 h, 厌氧池 HRT = 1~ 2 h, $L_S = 0.04 \sim 0.08$ kgBOD ₅ /(kgMLSS · d), $X = 8 \sim 10$ g/L, SRT = 25~ 40 d	强化生物脱氮: HRT = 17 h, $L_S = 0.08 \sim 0.12$ kgBOD ₅ /(kg MLSS · d), $X = 2\,500 \sim 4\,000$ mg/L, 沉淀池 $q = 0.82 \sim 0.92$ m ³ /(m ² · h)。磁分离: 絮凝剂安全系数 $\beta = 1.7 \sim 2.5$ (当进水 TP ≤ 2 mg/L 时, β 为 2.2~ 2.5; 当进水 TP > 2 mg/L 时, β 为 1.7~ 2.2), 助凝剂 PAM 投量 1.2~ 3 mg/L, 沉淀池 $q = 15 \sim 20$ m ³ /(m ² · h)	强化生物脱氮: HRT = 17 h, $L_S = 0.08 \sim 0.12$ kgBOD ₅ /(kg MLSS · d), $X = 2\,500 \sim 4\,000$ mg/L, 沉淀池 $q = 0.82 \sim 0.92$ m ³ /(m ² · h); 微絮凝过滤: 絮凝时间 2~ 8 min, 滤料直径 1 mm, 滤层深度 1.1~ 1.3 m, 滤速 5~ 6 m/h
工程造价/元/(m ³ · d)	2 000~ 2 400	1 640~ 1 720	1 620~ 1 700
直接运行费用/元/(m ³ · d)	0.66~ 0.72	0.55~ 0.61	0.56~ 0.62
占地面积/m ² /(m ³ · d)	0.75~ 1	1.10~ 1.35	1.15~ 1.4

当滤速为 5~ 6 m/h 时, 微絮凝过滤采用的滤池 HRT 为 10~ 12 min, 与传统混凝沉淀过滤工艺相比也能够缩短深度处理工艺流程。

4 主要技术经济指标分析

MBR 工艺、UNITANK 强化生物脱氮+ 磁分离工艺、UNITANK 强化生物脱氮+ 微絮凝过滤工艺的主要技术经济指标见表 5。

5 结论

(1) 对于城市污水, 在冬季低温季节, MBR 工艺出水水质能够全面稳定地达到 GB 18918—2002 一级 A 标准。与传统活性污泥法比较, MBR 工艺 HRT 更短, 采用 MBR 工艺能够缩短工艺流程。

(2) 经过强化生物脱氮, UNITANK 工艺出水 N 指标能够稳定地达到一级 A 标准。

(3) 采用磁分离技术或者微絮凝过滤技术深度处理 UNITANK 工艺强化生物脱氮出水, 出水水质能够全面稳定地达到一级 A 标准。

(4) 与传统混凝沉淀过滤技术比较, 磁分离技术或者微絮凝过滤技术 HRT 更短, 采用磁分离技术或微絮凝过滤技术能够缩短深度处理工艺流程。

参考文献

- GB 18918—2002 城镇污水处理厂污染物排放标准
- 黄霞, 曹斌, 文湘华, 等. 膜生物反应器在我国的研究与应用新进展. 环境科学学报, 2008, 28(3): 416~ 429
- 张雅玲, 李艺, 方先金, 等. 水污染控制磁技术试验研究与应用前景分析. [见]: 全国污水处理节能减排新技术、新工艺、新设施高级研讨会, 桂林, 2008
- 栗兆坤, 李桂平, 王曙光. 微絮凝-深床直接过滤及工艺参数研究.

中国给水排水, 2002, 18(4): 14~ 18

- 邵辉煌. 好氧池溶解氧对 MBR 工艺处理效果及运行能耗的影响. 给水排水, 2009, 35(10): 38~ 41

& 通讯处: 100082 北京市西直门北大街 32 号 3 号楼

电话: (010) 82216563

E-mail: shaohuihuang@tsinghua.org.cn

收稿日期: 2009-09-03

修回日期: 2009-09-27

大连推进废水资源化工作五座 发电厂用中水做水源

近几年, 大连市采取政府投资配套中水输水管网、企业出资兴建深度净水设施、给予应用污水处理企业优惠水价等措施, 大力推进废水资源化工作, 目前全市中水回用率达 32%。马栏河属于大连的季节性河流, 主要功能是汛期泄洪。马栏河污水处理厂一厂、二厂处理污水能力 20 万 m³/d, 处理后产生的再生水, 4 万 m³ 用于泰山热电厂冷却水, 4 万 m³ 用于 2 号橡皮坝景观用水, 3 000 m³ 用于城市绿化喷洒水。由于水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准, 使其可以用于景观用水。为此, 大连市中心城建局在马栏河入海口附近规划建设了一处景观工程, 景观工程 2008 年 3 月建成, 由于采用重力自流, 以前向深海排放的泵站停运, 除去管道维护费, 每年可节省运转费用 200 余万元。此外, 大连市还有春柳河、恒基、泰山、大石化和北海头等五座发电厂以城市污水处理厂的中水作为水源, 节约了大量的水资源。按计划, 至 2010 年 7 月末, 大连市整体的再生水回用率将超过 40%。