

MBBR 在反硝化和好氧反应工艺中的应用及改进

钱志华（朝阳市环境科学研究院，辽宁 朝阳 122000）

陈绍军 杨春梅（辽宁省市政工程设计研究院有限责任公司，辽宁 沈阳 100006）

摘 要：在养鸡和屠宰废水处理设施的设计和运行中，对 MBBR 处理系统的反硝化和好氧单元的设计参数选取以及设施结构形式进行了探索，证明了同心圆好氧 MBBR/二沉池池型的结构先进性和反硝化单元设置双曲线搅拌器的良好反应结构特性，探讨了关于泥-膜共生工艺对于 BOD₅、氨氮、总氮等工艺参数选取的计算方式。

关键词：MBBR；设计规范；反硝化；泥-膜共生

1 前言

生物移动床工艺也称移动床生物膜反应器（Moving Bed Biofilm Reactor，简称 MBBR），由挪威 AnoxKaldes 公司发明，被法国威立雅环境收购，是目前国际上开始兴起的新型废（污）水生化处理技术，属于生物膜法或者泥-膜共生的范畴。自 1989 年第一套生物移动床工艺装置建成以来，已在全球建成了上千套市政和工业废（污）水处理设施，取得了良好的效果。

MBBR 与活性污泥法及固定床生物膜法的区别是填料（生物膜载体）悬浮在水中，生物膜附着于其上，由曝气气泡或搅拌器以及水力的推动，在水中上下循环移动，填料上的生物膜与废水、溶解氧充分接触，快速吸附并降解水体中的污染物，从而使废水得到净化。MBBR 工艺采用的悬浮生物填料，填料内部的安静环境和特殊改性利于生长泥龄长的微生物以及硝化菌，且耐低温特性良好。悬浮生物填料也可设置在厌氧区和缺氧区，加强脱氮除磷。可以说，MBBR 的填料-活性污泥复合床综合了活性污泥和生物膜法的优势，大幅提高了生物总量，是很有前景的生化工艺。

国内自 21 世纪初开始在国内逐步推广 MBBR 工艺，多为提标改造工程，对 COD、氨氮、总氮、总磷的达标，取得了良好的效果。但是在设计参数方面，由于 MBBR 在池型结构、流态方式等方面，对处理效率和效果影响很大，因此还未形成统一的设计规范，在填料淤积、出水筛网堵塞等方面仍然存在不足，需要继续努力^[1-2]。

我们在大连韩伟养鸡有限公司养鸡和屠宰废水的设计过程中，在对 MBBR 填料性能在不同工艺段的实验测试基础上，结合 MBBR 的发展现状和经验工艺参数，对好氧曝气池型和缺氧池的反应结构进行了优化设计，对工艺参数进行了合理选取，在调试、运行过程中得到了验证，克服了填料淤积、填料流态不稳定、出水筛网堵塞等问题，在此谨做介绍。

2 废水处理设施介绍

大连韩伟养鸡有限公司是国内的养鸡行业龙头企

业，养鸡和宰鸡废水的特点是具有高有机物、高悬浮物、高氨氮和总氮等特点。通过对该废水的治理，可以减少养殖和屠宰废水中的污染物进入水体，进而减少环境污染。

设计水量：1600t/d。

设计进水指标：

pH	COD _{Cr} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)
6-9	2000	1000	800	150	200	16

注：设计进水最低水温 10℃。

设计出水指标：符合《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中的一级 A 标准：

pH	COD _{Cr} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)
6-9	≤ 50	≤ 10	≤ 10	≤ 5 (8)	15	0.5

设计工艺：

见图 1。

关键设计参数：

鉴于本文以反硝化和好氧 MBBR 为讨论对象，所以只对相关工艺单元做分析。考虑到韩伟废水的氨氮很高，设计了前置和后置反硝化，前置反硝化和好氧联用，形成 A/MBBR（O），设置内回流和外回流，内部设置悬浮生物填料，是大连亿生源环保科技有限公司的发明专

利, 材质 PE 改性, 规格 $\phi 25 \times 10$, 有效比表面积高达 $500\text{m}^2/\text{m}^3$ 。考虑到氨氮和总氮高, 原水的碳氮比不足, 在 A/O 后面设置后置反硝化槽, 作为纯粹的生物膜反应器, 不需污泥回流, 加入乙酸钠作为补充碳源, 为了确保出水达标, 后置反硝化之后也设置了曝气生物滤池 (BAF) 进行深度处理。上述工艺可以称为 A/MBBR (O) /A/BAF (O), 工艺参数的计算如下:

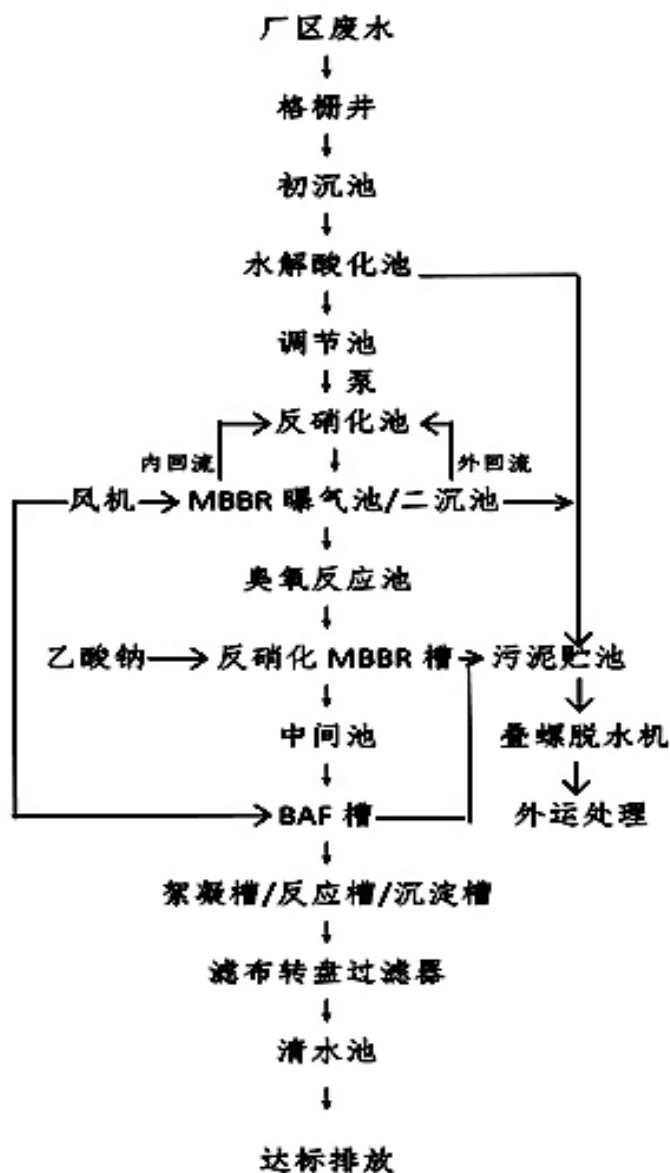


图 1

2.1 A/MBBR

A 段: 考虑到原水氨氮 150mg/L , 总氮 200mg/L , 在水解酸化工艺后, COD 只有 1600mg/L , BOD_5 大约 1000mg/L , 含氮量很高, 碳氮比不足, 因此对前置反硝化的设计去除能力是 70%, 出水总氮设计为 60mg/L , 留有余量。常规活性污泥法的 NO_3^--N 负荷为 $0.067\text{kg/kg MLSS}\cdot\text{d}$, 以 3500mg/L 污泥浓度计, 相当于 $0.24\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ 。我们加入 40% 的悬浮生物填料, 经实验采取硝酸盐载体表面积去除率 (SARR) $1\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 计算, NO_3^--N

负荷为 $0.2\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$, 合计 $0.44\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$, 故设计水力停留时间 (HRT) $=7.6\text{h}$ 。后面 MBBR 段的内回流比设置为 200%, 二沉池外回流比设置为 100%。

在池型方面, 我们采取圆柱形池体, 设置双曲线搅拌机, 经实验采用输出 $30\text{W}/\text{m}^3$ 的能量来搅动填料, 悬浮生物填料在池内呈充分流化状态, 水力条件良好, 填料上生物膜以及回流活性污泥和废水充分接触, 确保反应效率最大化。

MBBR (O) / 二沉池段: 此工艺段设计进水 $\text{BOD}_5=1000\text{mg/L}$, 出水 $\text{BOD}_5=100\text{mg/L}$, 设计去除能力 90%。活性污泥 BOD_5 负荷取 $0.1\text{kg}/\text{kg MLSS}\cdot\text{d}$, 以 3500mg/L 污泥浓度计, 相当于 $0.35\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$; 以我们加入 40% 的悬浮生物填料, 按 BOD_5 载体表面积去除率 $4\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 计算, BOD_5 负荷为 $0.8\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$, 合计 $1.15\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$, 计算 $\text{HRT}=18.78\text{h}$ 。此工艺段设计进水氨氮 $=200\text{mg/L}$ (考虑到总氮全部转化为氨氮), 出水氨氮 $=20\text{mg/L}$, 设计去除能力 90%。活性污泥 NH_4^+-N 负荷取 $0.02\text{kg}/\text{kg MLSS}\cdot\text{d}$, 以 3500mg/L 污泥浓度计, 相当于 $0.07\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$; 经实验采取 NH_4^+-N 载体表面积去除率 $0.5\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 计算, NH_4^+-N 负荷为 $0.1\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$, 合计 $0.17\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$, 故设计水力停留时间 (HRT) $=25.4\text{h}$ 。因此, MBBR 段取 $\text{HRT}=25.4\text{h}$ 。二沉池表面负荷取 $0.8\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$, $\text{HRT}=5\text{h}$ 。

在池型方面, 我们创造性地采取了同心圆结构, 内圆是二沉池, 外环是 MBBR 曝气池 (CABR)。MBBR 池内投入悬浮生物填料, 并设置三台液下推进器, MBBR 的出水通过环形穿孔管, 沿水流方向布置, 避免了填料淤积的问题。整个 MBBR 池内水流和填料十分流畅, 无任何淤积现象。克服了国内普遍采用的跑道型 (氧化沟形) 存在的转角处填料淤积, 以及直段由于水流变向导致流态不稳而造成的填料局部雍积问题, 计划申请专利。



图 2 CABR 池型

2.2 后置反硝化段

此工艺段设计进水总氮 (硝酸盐氮) $=60\text{mg/L}$, 出水总氮 $=9\text{mg/L}$, 设计去除能力 85%。在反应器内投加

乙酸钠作为碳源,因为反硝化性能不受内循环或碳源的影响,因此后置反硝化工艺可在较短的HRT下获得很高的脱氮率。采用完全的MBBR床,无活性污泥。我们加入40%的悬浮生物填料,经实验采取硝酸盐载体表面积去除率(SARR) $2\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 计算, NO_3^--N 负荷为 $0.4\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$,故设计水力停留时间(HRT) = 3h。后置反硝化和前置反硝化(A段)的池型结构基本相同,区别是在进水端投加乙酸钠作为碳源。

注:我们采取的填料处理负荷都是去除负荷计算,而不是进水负荷。

3 结果与讨论

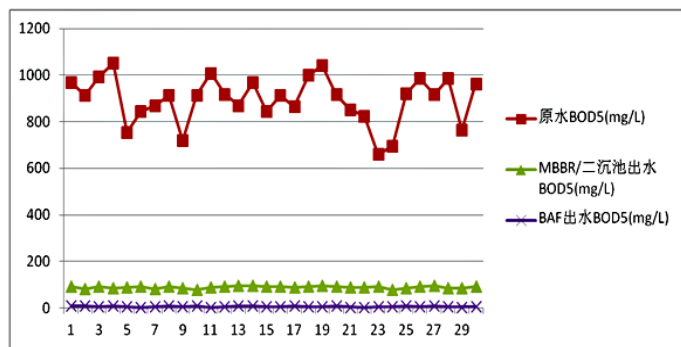


图3 废水处理设施 BOD₅ 数据

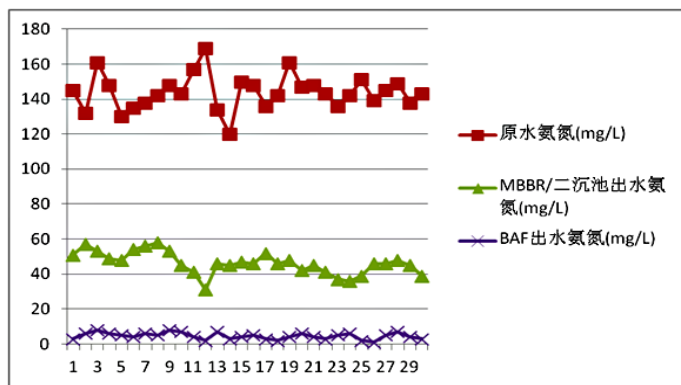


图4 废水处理设施氨氮数据

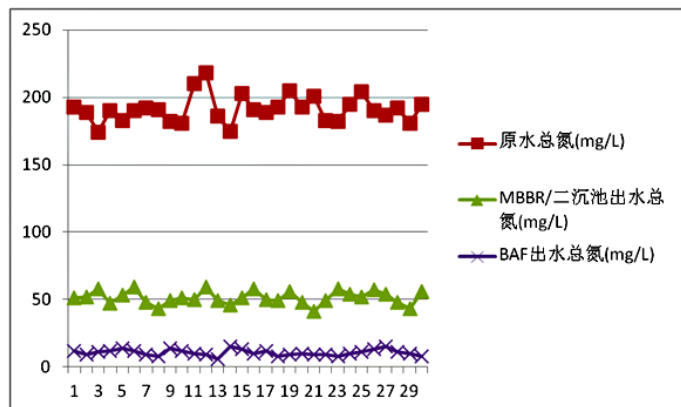


图5 废水处理设施总氮数据

经过2020年半年的调试和运行,废水处理设施满负荷运行,处理效果达标,我们也取得了充分的数据。现介绍与本文相关的A/MBBR出水、BAF出水(已经过后置反硝化)的COD、氨氮、总氮的一个月数据。

从图中可以看出,原水的BOD₅、氨氮和总氮基本在设计范围内,偶有超标,出水的BOD₅、氨氮和总氮稳定达标。即使进入冬季,水温在10℃左右,处理水质仍然稳定。

综上所述,可以得出如下结论:

①悬浮生物填料的污染物处理负荷参数建立在实验测试的基础上的选取准确,在满负荷运行条件下,废水处理设施稳定达标;

②MBBR是泥-膜共生系统,处理负荷较传统活性污泥法(A/O)有较大增加,且具有良好的耐冲击性能和耐低温特性;

③以悬浮生物填料的比表面积负荷和活性污泥的污泥负荷叠加计算是准确的,采取二种不同的计算方式,比较符合实际;

④悬浮生物填料的氨氮负荷按载体表面积去除率 $0.5\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 计算, NH_4^+-N 负荷为 $0.1\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$,高于活性污泥的 $0.07\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$,是确保氨氮达标的重要因素。悬浮生物填料的生物膜泥龄长,硝化菌含量高,且具有良好的耐冲击和耐低温特性,有利于克服活性污泥系统冬季运行水质波动的问题;

⑤前置反硝化和后置反硝化由于碳源、溶解氧、嗜磷菌等因素的影响,所选取的负荷是不同的,后置反硝化的脱氮效率更高,而且MBBR床完全可以采取生物膜法方式运行。适当的搅拌强度可以创造良好的混合反应条件,提高反应效率;

⑥同心圆结构的MBBR/二沉池属于国内首创。整个MBBR池内水流和填料十分流畅,无任何淤积现象,很好地克服了国内普遍采用的跑道型(氧化沟形)存在的转角处填料淤积,以及直段由于水流变向导致流态不稳而造成的填料局部雍积问题,也为以后探索厌氧、缺氧、MBBR、二沉池合建,开发高效生化工艺,奠定了良好的基础。

参考文献:

- [1] 镇祥华,陈才高,李树苑,雷培树 MBBR 设计要点探讨[J]. 资源节约与环保,2016(9).
- [2] 廖维,陈婷婷,李慧强,等. 移动床生物膜反应器深度处理模拟废水及工业园区综合废水[J]. 环境污染与防治,2015,37(6):24-33.

作者简介:

钱志华(1968-),男,高级工程师,研究方向为水污染控制理论及应用。