

NIM-DIAB 工艺脱氮效果探究

杨思聪 张信武 耿春茂 彭东豪 廖志军

广东科清环境技术有限公司, 中国·广东 惠州 516000

摘要: 在大亚湾第二水质净化厂构建了规模为 50m³/d 的 NIM-DIAB 工艺中试系统, 详细分析了运行约 6 个月的生化脱氮除磷效果, 并与采用氧化沟工艺的该厂一期工程进行对比。结果显示, 中试系统出水总氮浓度可稳定低于 3.71mg/L。另外, 中试在未投加除磷药剂和未配置深度处理设施的情况下, 还实现了较好的生物除磷效果, 出水总磷浓度稳定在 0.46mg/L 以下。相对于氧化沟工艺, 在相同进水水质和温度条件下 NIM-DIAB 工艺实现了优异的同步脱氮除磷效果。该中试为 NIM-DIAB 工艺的工程化应用提供了有力的数据支撑。

关键词: NIM-DIAB 工艺; 同步脱氮除磷; 深度脱氮

Exploration of Denitrification Effect of NIM-DIAB Process

Sicong Yang Xinwu Zhang Chunmao Geng Donghao Peng Zhijun Liao

Guangdong Keqing Environmental Technology Co., Ltd., Huizhou, Guangdong, 516000, China

Abstract: A pilot system of NIM-DIAB process with a scale of 50m³/d was constructed in the Daya Bay Second Water Purification Plant. The biochemical nitrogen and phosphorus removal efficiency after about 6 months of operation was analyzed in detail, and compared with the first phase project of the plant using oxidation ditch process. The results showed that the total nitrogen concentration in the effluent of the pilot system could remain stable below 3.71mg/L. In addition, the pilot test achieved good biological phosphorus removal effect without adding phosphorus removal agents and configuring advanced treatment facilities, and the total phosphorus concentration in the effluent remained stable below 0.46mg/L. Compared to the oxidation ditch process, the NIM-DIAB process achieved excellent synchronous nitrogen and phosphorus removal under the same inlet water quality and temperature conditions. This pilot study provides strong data support for the engineering application of NIM-DIAB process.

Keywords: NIM-DIAB process; simultaneous nitrogen and phosphorus removal; deep denitrification

0 前言

为深入贯彻《中共中央国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》, 实施珠江口邻近海域污染防治行动, 因地制宜加强总氮排放控制, 实施入海河流总氮削减工程。由此可见, 新政策下国家对水质净化厂脱氮提出了更高的要求。

由于传统 AO、AAO、氧化沟等工艺脱氮存在以下问题: 有机负荷与污泥龄的矛盾, 导致脱氮和除磷效果难以同时达到最优; 由于厌氧区居前, 回流污泥中的硝酸盐会对厌氧区产生不利影响, 进而影响脱氮效果。碳源分配不均影响脱氮效率, 缺氧区位于系统中部, 反硝化作用在碳源分配上可能处于不利地位, 尤其是当进水碳源不足时, 会严重影响系统的脱氮效果。另外内循环量对脱氮效果有重要影响, 但通常内循环量不宜过高, 否则会增加运行费用并可能对缺氧反应器造成干扰。因此, 研发经济合理、具有深度脱氮功能的市政污水处理工艺非常有必要。

为此, 科清公司研发团队研发了 NIM-DIAB 工艺全称为核孔膜固定化微生物深度脱氮除磷气升环流生物反应器技术 (Nuclear track membranes Immobilized Microbial Deep Denitrification and Phosphorus Removal Integrated Airlift Loop

Bioreactor, NIM-DIAB), 成功实现了低碳氮比污水的深度脱氮。NIM-DIAB 生化反应器内部区域分为好氧区和三相分离器区, 三相分离器中下部均为好氧区, 外圈区域为预缺氧区、厌氧区、NIM 脱氮区和部分好氧区域, 内外圈通过三相分离器底部的通道首尾相连。反应器内的污水由厌氧段—NIM 脱氮段—好氧段—预缺氧段之间循环流动, 达到混合液回流和高效脱氮的目的, 强烈的混合效果提高了混合液的回流比, 也让反应器的抗冲击负荷能力增强。经过好氧区和三相分离器的污水从三相分离器的顶部出水堰出水, 被三相分离器截留下来的污泥返回三相分离器底部的好氧区。

在大亚湾第二水质净化厂构建了规模为 50m³/d 的 NIM-DIAB 工艺中试系统, 并与该厂一期工程氧化沟工艺的运行效果进行比较, 结果显示 NIM-DIAB 工艺在同步生物脱氮除磷效果, 尤其是深度脱氮方面, 优于氧化沟工艺, 可以作为 NIM-DIAB 工艺大规模工程化应用的决策和设计参考。

1 试验装置与方法

1.1 大亚湾第二水质净化厂一期工程

大亚湾第二水质净化厂一期工程设计规模为 2.0 × 10³m³/d,

生化段采用氧化沟工艺。生化段总停留时间 (HRT) 为 15h。该厂设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002) 一级 A 标准。其 2024 年的进出水水质见表 1。具体工艺流程如图 1 所示。

表 1 大亚湾第二水质净化厂一期工程 2024 年的进出水水质

项目	COD	NH ₃ -N	TN	TP	pH
进水	60.85	30.87	35.19	3.20	7.21
出水	11.57	4.36	17.15	0.76	7.31

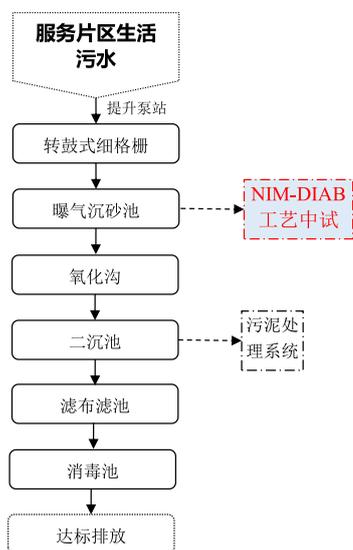


图 1 大亚湾第二水质净化厂一期工程工艺流程

1.2 NIM-DIAB 工艺测试系统

为深入探究 NIM-DIAB 工艺在实际应用中的效果，我们在大亚湾第二水质净化厂一期工程搭建一套处理规模为 50m³/d 的 NIM-DIAB 工艺中试装置，装置总停留时间 HRT 为 14h，采用好氧区与沉淀区叠合设计节省了用地空间，在回流机制上，我们引入了气升式微动力回流技术，通过其强大的混合能力，极大地提升了混合液的回流效率，从而进一步增强了工艺的整体处理效果。厌氧区、NIM 脱氮区、好氧区、预缺氧区的 HRT 比例为 2 : 2 : 4 : 1。中试系统的工艺流程如图 2 所示。

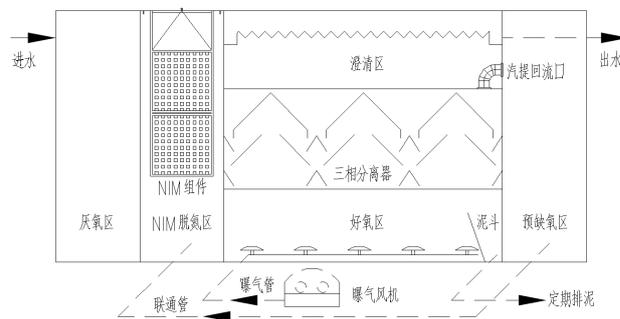


图 2 NIM-DIAB 装置工艺流程

为了实时监控中试装置的运行效率，我们安装了进出水水质在线监测系统，该系统能够每两小时自动检测并记录进出水中的化学需氧量 (COD)、氨氮、总磷和总氮的浓度。此外，在生化处理的不同区域，我们也配置了相应的过程监测仪表：厌氧区配置了氧化还原电位 (ORP) 仪；NIM 脱氮区与预缺氧区则分别安装了溶氧仪、硝酸盐氮 / 亚硝酸盐氮分析仪以及污泥浓度测量仪；好氧区则装备了氨氮检测仪、污泥浓度测量仪和溶解氧监测仪。为了更有效地管理和控制中试装置，我们还为中试装置配置了一套自动化控制系统平台，实现了数据的集中收集与直观展示，为操作人员提供了强有力的决策支持。

2 过程记录及分析

2.1 污泥接种及培养

中试装置于 2023 年 2 月 1 日通水，系统启动初期投加 MLSS 浓度约为 5200mg/L 的质净化厂生化池活性污泥，结合此前的类似中试积累的经验，控制接种污泥浓度在 4500~5000mg/L，培养期间好氧区溶解氧控制在 2~3mg/L。连续观测两周后，在 2 月 13 日出水总氮就已达 5.0mg/L 以下，系统调试期远小于传统工艺，呈现较强的稳定性。

2.2 进出水水质及工艺运行参数

中试系统自 2023 年 2 月开始连续稳定运行 6 个月，其间我们团队对中试装置及净化厂 (含滤布滤池深度处理及化学除磷) 的进出水水质进行了详细记录，见表 2。

表 2 中试与水质净化厂进出水水质及除污效率数据表

项目		COD	NH ₃ -N	TN	TP
大亚湾第二水质净化厂进水	进水均值 (mg/L)	160.37	30.76	37.29	3.89
	出水均值 (mg/L)	12.71	0.37	3.71	0.46
NIM-DIAB 工艺中试	去除率	92.07%	98.80%	90.05%	88.17%
	出水水质 (mg/L)	12.62	0.41	6.5	0.15
氧化沟工艺净化厂	去除率	92.13%	98.67%	82.57%	96.14%

大亚湾第二水质净化厂一期工程在投加了约 20mg/L 化学除磷药剂 (PAC) 以及碳源的情况下，出水总氮和总磷平均浓度分别为 6.5、0.15mg/L，去除率分别为 82.57% 和 96.14%。中试装置的出水总氮浓度稳定在 3.71mg/L 以下，在未投加外部碳源的情况下，去除率达 90.05%。同时，未

投加化学除磷药剂 (PAC) 且未经深度处理的三相分离器澄清区出水总磷浓度均值达到 0.46mg/L，同步生物脱氮除磷效果十分明显。两套系统的运行参数对比如表 3 所示。其中溶解氧控制如下：两种工艺均为厌氧段的 DO < 0.2mg/L，缺氧段 DO < 0.5mg/L，好氧区 DO 分别控制在 2~3mg/L。

表 3 中试与水质净化厂一期工程工艺参数对比

工艺参数	NIM-DIAB 工艺中试	氧化沟工艺 净化厂
进水水量 / (M ³ /D)	50	20000
水温 /°C	25~30	25~30
总停留时间 /h	14.2	15
污泥负荷 /kg (BOD) kg (MLSS) ·d	0.04~0.05	0.04~0.05
污泥浓度 /mg/L	4500~5000	4000~6000

2.3 NIM-DIAB 工艺系统对 TN 的去除情况

调试运行阶段生化系统进水 TN 波动性较小。NIM 技术（核孔膜固定化微生物载体填料）初始投加阶段（0~7d）TN 进水均值为 38.92mg/L，出水均值为 5.94g/L，平均去除率为 85%；生物膜形成阶段（8~15d）TN 进水均值为 65mg/L，出水均值为 18g/L，平均去除率为 91%；挂膜完成后 TN 进水均值为 37.29mg/L，出水均值为 3.71g/L，平均去除率为 90.05%。各阶段进出水 TN 变化见图 3。平均 TN 去除率达到 90% 以上。

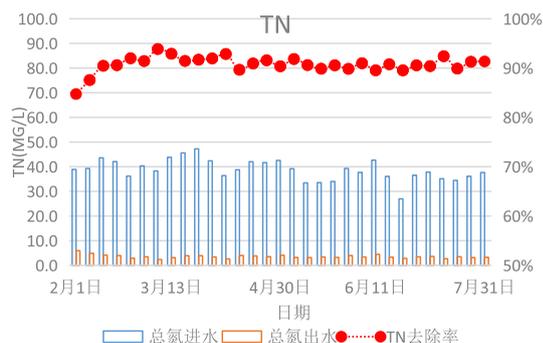


图 3 NIM-DIAB 工艺的总氮去除效果

3 结语

NIM-DIAB 工艺的脱氮除磷效果得到了有效的验证。在缺氧区设置的 NIM 技术（核孔膜固定化微生物载体填料），通过核孔膜对非优势自养脱氮微生物进行固定，形成一层稳定的固定化微生物膜，使原生化系统内非优势自养脱氮微生物在固定状态下进行自养反硝化。在低碳氮比条件下，实现了总氮的高效脱除，解决了碳源限制总氮去除的技术难题，减少外碳源投加。DIAB 技术通过使用三相分离器模块替代传统二沉池的做法，对反应器的流态及工艺段的布置重新进行了优化设计，使得反应器在占地面积上较传统工艺大幅缩小、效能大幅提升。NIM-DIAB 工艺，实现了污水处理领域内节能降碳的重要突破，该工艺可运用于新建污水处理厂建设，或是现状氧化沟、AAO 及其变种工艺的升级改造。

参考文献：

- [1] 魏爱书,牛晓君.MABR工艺在污水处理站提标改造中的应用[J].环境工程学报,2021,15(6):2174-2180.
- [2] 孙家君,刘芳,胡筱敏.溶解氧和曝气时间对好氧反硝化菌脱氮效果的影响[J].环境工程,2014(12):4.
- [3] 杨垒,陈宁,任勇翔,等.异养硝化细菌Acinetobacter junii NP1的同步脱氮除磷特性及动力学分析[J].环境科学,2019,40(8):9.
- [4] 古凌艳,黄文章,王维康,等.AOA与多段AO工艺生物脱氮除磷性能的比较[J].中国给水排水,2024,40(7):1-5.

作者简介：杨思聪（1990-），男，中国广东人，本科，中级工程师，从事环保行业环境治理、水处理等研究。