

原位生物膜技术在水环境提升工程中的应用



张雷燕*

中冶生态环保集团有限公司, 北京 100028

摘要: 河流在人类社会中扮演着非常重要的角色,但是由于城市的快速发展,人类对河道水体的过度使用以及随意将污染物排放入河流中,致使水体中 N、P 含量超标,河道水环境的污染问题越来越严重。为净化水体,降解水中污染物,改善河道整体水环境,此次采用原位生物膜技术对河道水环境进行修复。从试验河道采集水样,初始阶段每天采样 1 次,稳定运行后采样间隔时间为 4 天、7 天、11 天,共计采集 14 个水样。结果表明:在微生物膜稳定运行 32 天后,从上游 M1 至中游 M2,原位生物膜对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率最高达 65.28%;从上游 M1 至下游 M3,整个原位生物膜对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率最高达 66.67%。研究表明原位生物膜技术去除 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的效果明显,能有效地改善河道水环境,为城市河道的原位治理提供借鉴意义。

关键词: 水环境提升; 生物膜; 生态; 修复技术

DOI: [10.57237/j.wjese.2023.01.005](https://doi.org/10.57237/j.wjese.2023.01.005)

Application of the Biofilm Technology in the Water Environment Improvement Project

Zhang Leiyan*

Ecology Environmental Protection Group Corporation, Ltd., MCC, Beijing 100028, China

Abstract: The river plays an important role in the development of the human society. But because of the rapid development of the cities, human overuse of river water and random discharge of pollutants into the rivers, the pollution of river water environment is becoming more and more serious. The biofilm technology is used to repair the water environment of the river in order to purify the water body and improve the overall water environment of the river. Water samples were collected from the trial river channel. In the initial stage, samples were taken once a day. After stable operation, the sampling interval was 4 days, 7 days and 11 days. A total of 14 water samples were collected. The results showed that the removal rate of ammonia nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) reached 65.28% from M1 to M2 after 32 days of stable operation of the microbial membrane. And that reached 66.67% from M1 to M2. The research shows that the effect of removing $\text{NH}_4^+\text{-N}$ by in-situ biofilm technology is obvious. It can effectively improve the river water environment and provide reference for the in-situ treatment of urban rivers.

Keywords: Water Environment Improvement; Biofilm; Ecology; Remediation Technology

*通信作者: 张雷燕, lyzhang27@126.com

1 引言

随着中国城镇化步伐的加快,城市环境基础设施日渐不足,大量污染物直接排入河流,致使 N、P 含量超标,赵华等[1]研究表明外源 N、P 污染是引起湖泊富营养化以及蓝藻水华的主要原因。据统计,我国 80% 以上的城市河道受到了污染,其中很多甚至出现了季节性和常年性水体黑臭现象[2]。水体出现黑臭现象不仅使水体失去了资源功能,而且严重地破坏了其周围的环境景象,更进一步地危害到周边居民的身体健康,限制了城市自身的发展,破坏了城市的美好形象。

水环境治理是使河道恢复因人类活动的干扰而散失或退化的自然功能[3],以实现水清为第一目标,先行做好水环境改善、水生态修复,推动河流从达标水体向健康河湖水环境提升发展。其中,河道水体原位净化技术可实现不占用河道以外的用地,改善河道水质,恢复水生态体系的目的,具有工艺成本低、不占地、有效削减水体污染物等特点[4,5]。水体原位净化技术中水生态修复技术应用最为广泛,具体措施主要包括营造水下森林、曝气增氧、生态浮床、人工湿地、微生物强化技术、原位生物膜等。微生物强化技术主要有两类:一是直接向污染河道水体投加经过培养筛选的一种或多种微生物菌种;二是向污染河道水体投加微生物促生剂,促进土著微生物的生长[6]。

生物膜技术起源于对自然界已有现象的总结和模拟[7],原位生物膜则是一种有机融合了气体分离膜技术和生物膜技术的新型水处理技术[8]。原位生物膜技术是利用附着生长于某些固体物表面的微生物(即生物膜)进行有机污水处理的方法,其表面主要由微生物组分和 EPS 组分构成[9],即由高度密集的好氧菌、厌氧菌、兼性菌、真菌、原生动物以及藻类等组成的生态系统,自滤料向外可分为厌氧层、好氧层、附着水层、运动水层。污水在生物膜周围流动时,水体中的污染物在浓差驱动和微生物吸附等作用下进入生物

膜内并被微生物利用、分解,使水体中的污染物同化为微生物菌体固定在生物膜上或分解成无机代谢产物,达到去除污染物、净化水体的效果。原位生物膜技术具有净化效果好、便于管理等优点。叶家祥等[10]提出了一种基于河道水体原位净化能力的 EHBR 膜反应器与生态浮岛联合净化系统,可大大提高河道对于污水处理厂尾水的容纳量,避免河道水体持续恶化。王学江等[11,12]以悬浮填料为生物挂膜载体研究了生物膜技术对受污染河道污水的处理效果,发现该技术对 COD 和氨氮的处理效果十分显著。胡一珍等[13]采用蜂窝陶瓷载体挂膜对受污染河道进行生物修复,表明在生物膜形成的过程中,经过 4 天的生物修复,原位和异位方法对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率分别达到 100% 和 65%。曹蓉等[14]研究表明,在挂膜成功后,系统对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率在 45% 以上,对 BOD_5 的去除率在 50% 以上。金立建等[15]采用生物飘带技术进行河道水质净化处理经自然挂膜,对 COD、氨氮去除量分别可达 1608、246 kg/d。

目前在城市河道水环境原位治理工程项目中将原位生物膜技术布设于河道中,去除水中污染物,以期达到提升河道水环境的目的。

2 材料与方法

2.1 试验河道

试验河道位于南京市栖霞区,全长约 1.65km,宽约 20m,水深在 0.8-2.0m 之间。该河道的主要污染包括上游零星排放的生活污水、地表径流污染和降雨降尘污染。

在该河道中游段布设原位生物膜,试验生物膜对水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的去除效果。



图 1 河道位置图

2.2 试验材料

原位生物膜包括膜组件和沉水风机，通过沉水风机增加膜组件周围的氧气，使微生物膜附着生长在透氧中空纤维膜表面，污水在透氧膜周围流动时，水体中的污染物在浓差驱动和微生物吸附等作用下进入生物膜内，经过生物代谢和增殖被微生物利用，使水体中的污染物同化为微生物菌体固定在生物膜上或分解成无机代谢产物，从而实现对水体的净化。

原位生物膜组件的安装形式采用水草式和固定式相结合的方式，安装在河底，不影响河道泄洪能力，如图所示。

布设原位生物膜的河段总长度约为 995m，河道宽度为 19-25m。每间隔 15m 布设一单元，共布设 5 个单

元，每一单元含 11 组，每组间隔 0.5m，配套包括 1.5kw ($Q=0.78\text{m}^3/\text{min}$) 沉水风机 2 台（一用一备）和 1 套气管。



图2 原位生物膜现场情况

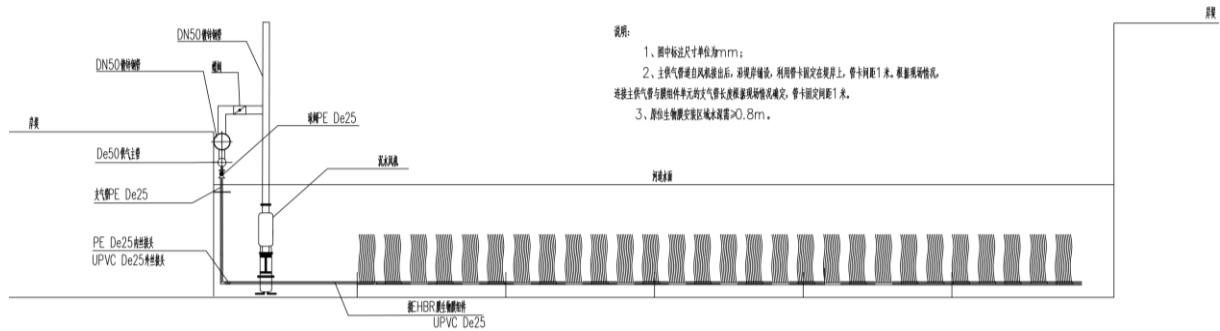


图3 河道断面生物膜组件示意图

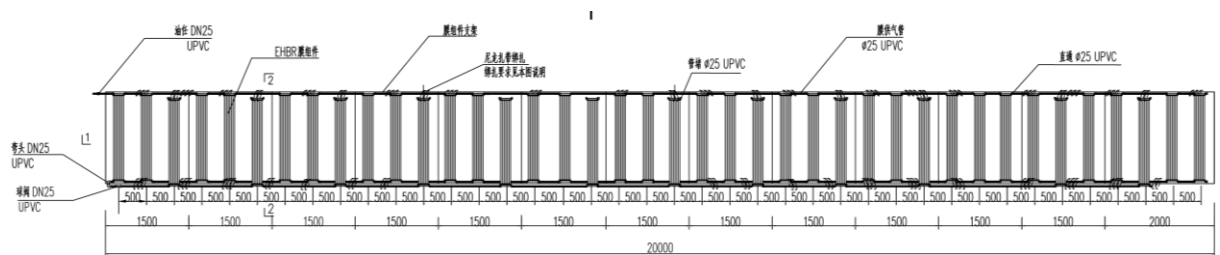


图4 膜组件详图

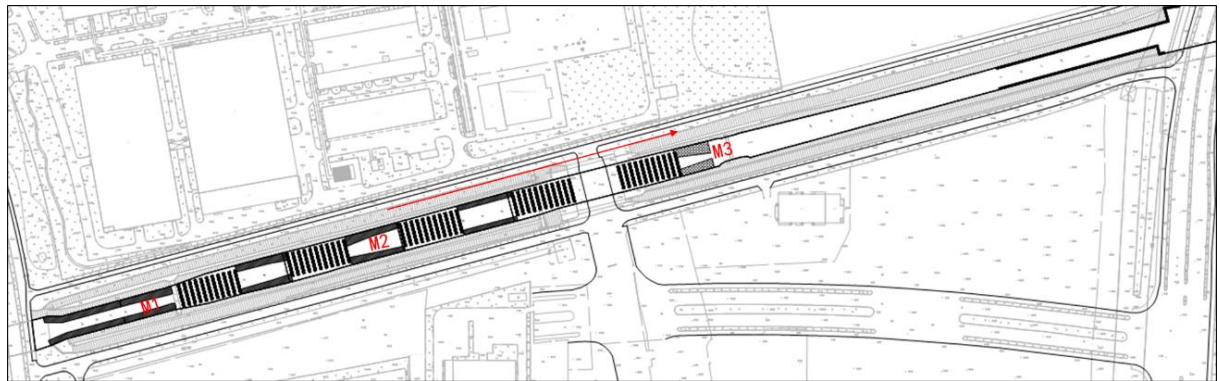


图5 膜组件布设平面图和采样点位置图

2.3 采样及检测方法

从试验河道采集水样，按水流动的方向设置 3 个采样点 M1、M2、M3（图 5），在原位生物膜安装和投加微生物菌剂均完成后即进入初始阶段，待微生物挂膜完成后，处理效果基本稳定，则进入稳定运行阶段。初始阶段每天采样 1 次，稳定运行后采样间隔时间为 4 天、7 天、11 天，共计采集 14 个水样。

水质检测分析主要检测 DO 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度，采用《水和废水监测分析方法》中的检测方法对指标进行测定。

水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率按以下公式计算：

$$\text{去除率} = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100\%$$

式中， C_i 为进水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度，mg/L； C_e 为出水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度，mg/L。

3 结果与讨论

3.1 河道水质情况

试验开始前检测河道水质，结果见表 1，属于劣 V 类水质。

表 1 治理前河道水质

采样点	透明度 (cm)	DO 浓度 (mg/L)	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度 (mg/L)
M1	45	1.5	5.75
M2	40	2.9	3.67
M3	50	2.2	2.23

3.2 原位生物膜运行期间水质情况

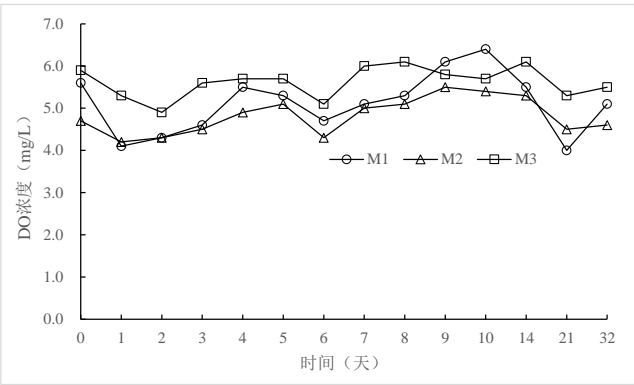


图 6 运行期间 DO 浓度的变化

图 6 为原位生物膜运行阶段河道的 DO 浓度。从图中可以看出，系统运行时的曝气增氧，水体 DO 浓度迅速上升，由于生物膜已经形成，微生物对氧气的需求量增大，不断消耗水中的氧气，使水体中 DO 浓度有所下降。由于水体中 DO 受微生物降解活动和曝气的影响较大，各采样点浓度均呈现波动变化的趋势，采样点 M1 的 DO 浓度的变化范围是 4.0~6.4 mg/L，采样点 M2 的 DO 浓度的变化范围是 4.2~5.5 mg/L，采样点 M3 的 DO 浓度的变化范围是 5.1~6.1 mg/L。采样点 M2 位于原位生物膜布设的中间区域，由于微生物降解消耗氧气的原因，其 DO 浓度变化趋势相比其他两点较低。待原位生物膜稳定运行后，对各污染物的去除效果逐渐趋于稳定，微生物降解所需要消耗氧气的量也达到一定程度，系统不再耗氧，水中的 DO 浓度会维持在一定的范围内。

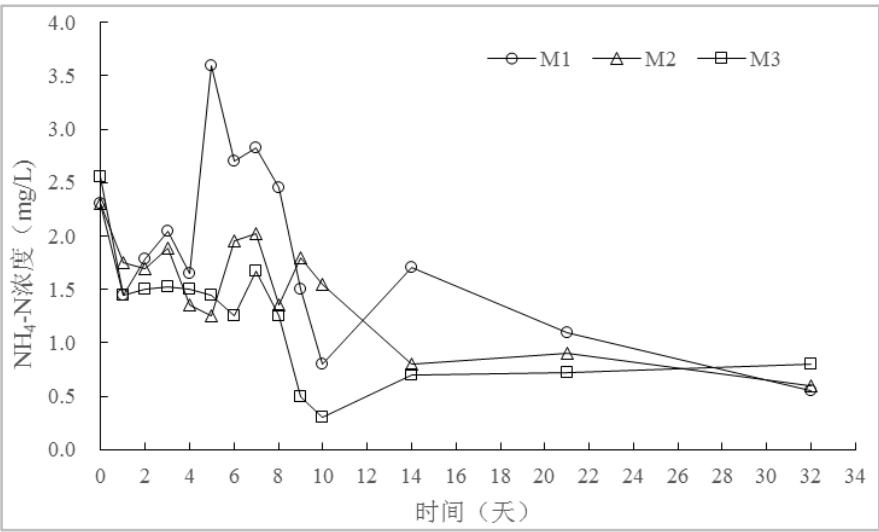


图 7 运行期间 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度变化

图7为原位生物膜运行阶段河道 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度的变化特征。从图中可以看出,随着运行时间的增长,原位生物膜的降解作用逐渐增大,对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的降解作用增加,从总体趋势上看,样点M2的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度低于样点M1的浓度,样点M3的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度较样点M2较低,可能由于M2位于原位生物膜的中游,而样点M3位于原位生物膜的下游,随着原位生物膜上微生物富集量增大,对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的降解作用越大,水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的浓度越低。整个实验期间,样点M1的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度变化范围是0.55~3.60mg/L,样点M2的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度变化范围是0.60~2.30mg/L,样点M3的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度变化范围是0.30~2.55mg/L。从上游M1至中游M2,原位生物膜对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率最高达65.28%;从上游M1至下游M3,整个原位生物膜对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率最高达66.67%。在本次原位试验中,DO浓度基本在4.8mg/L波动,因此对水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率也较高。郭劲松等[16]研究表明,DO浓度大小直接影响系统中各种微生物的活性,并对不同形态氮化合物之间的转化形成制约,当系统内DO为2.0mg/L时,出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率达99%。

4 结论

城市水环境提升是一项多技术结合的综合性工程,根据每条河道水体受污染的实际情况,综合物理、生物-生态等技术手段,对水体进行改善,此次工程项目中采用原位生物膜技术对河道水环境进行修复,保障了河道水质达标。与治理前的河道水质相比,水体DO持续稳定在4.8mg/L左右, $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度最高削减了约66%,治理后河道水质主要指标达到《地表水环境质量标准》V类标准。

参考文献

- [1] 赵华, 张先智, 肖娴. 氮磷营养盐控制与湖泊蓝藻水华治理研究进展 [J]. 环境科学导则, 2021, 40 (3): 12-15.
- [2] 钱易. 中国水污染控制对策之我见 [J]. 环境保护, 2007, 78: 20-23.
- [3] NIJLAND H J, CALS M J R. Conference Considerations, Conclusions and Recommendations [A]. ECRR Proceedings [C]. 2000.

- [4] 赵生成, 王绍斌, 崔树生, 等. 污染水体原位就地修复技术的研究以及在温榆河污染治理上的应用 [J]. 海河水利, 2004, 41 (3): 41-43.
- [5] 王淑梅, 王宝贞, 金文标, 等. 城市污染河道水质原位综合净化技术 [J]. 城市环境与生态, 2008, 21 (4): 1-3.
- [6] 钱嫦萍, 王东启, 陈振楼, 等. 生物修复技术在黑臭河道治理中的应用 [J]. 水处理技术, 2009, 35 (4): 13-17.
- [7] 纳云. 浅议生物膜技术在水生态修复与自然水体水环境治理中的应用 [J]. 农业与技术, 2016, 36 (17): 24-25, 39.
- [8] 杨玥, 钟惠舟. MABR与微生物菌剂联用治理小型黑臭河道的效果 [J]. 环境工程技术学报, 2020, 10 (5): 853-859.
- [9] 吕鹏翼, 罗金学, 韩振飞, 等. 生物膜技术在污染河流原位修复中的应用及研究进展 [J]. 水处理技术, 2017, 43 (11): 1-7.
- [10] 叶家祥, 黎龙, 关永恒, 等. EHBR膜反应器与生态浮岛施工技术在河道水体原位净化中的应用 [J]. 技术与应用, 2020, (9), 269.
- [11] 王学江, 夏四清, 张全兴, 等. 悬浮填料移动床处理苏州河支流河水试验研究 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3 (1): 27-29, 22.
- [12] [h] 王荣昌, 文湘华, 景永强, 等. 悬浮载体生物膜反应器修复受污染河水试验研究 [J]. 环境科学, 2004 (增刊 1), 67-69.
- [13] 胡一珍, 张永明. 用生物膜方法修复受污染河道水 [J]. 上海师范大学学报 (自然科学版), 2007, 36 (6): 91-98.
- [14] 曹蓉, 邢海, 金文标. 生物膜处理城市河道污染水体的挂膜试验研究 [J]. 环境工程学报, 2008, 2 (3): 374-377.
- [15] 金立建, 张志立, 盖丽红, 等. 生物膜技术在河道水质净化中的应用及分析 [J]. 中国给水排水, 2014, 30 (8): 58-60.
- [16] 郭劲松, 董俐, 方芳, 等. 单级自养脱氮系统运行周期内的DO变化研究 [J]. 中国给水排水, 2012, 28 (3): 47-51.

作者简介

张雷燕

1982年生, 博士研究生, 研究方向: 地表水处理.

E-mail: lyzhang27@126.com