

# 生物滤池技术处理水体中氮磷营养盐污染研究

王宇亮

北京遂源科技有限公司, 中国·北京 100010

**摘要:** 随着工业化和城市化的加速发展, 水体营养盐污染已成为全球性环境问题。氮、磷污染不仅影响水质, 威胁饮用水安全, 还可导致水体富营养化, 引发藻类大量繁殖, 造成水华现象, 进而破坏水生生态系统, 影响生物多样性。传统的物理和化学处理方法虽然在一定程度上能够去除水中的氮、磷, 但往往成本高昂, 而且可能会引入新的污染物或副产物。因此, 寻求既经济又环保的水处理方法成为研究和实践的重点。生物滤池技术以其低成本、高效率和环境友好的特点, 成为解决氮、磷污染问题的有力候选技术。因此, 研究和优化生物滤池技术, 以适应不同的水质条件和处理需求, 是当前环境保护和水体治理的重要课题。

**关键词:** 生物滤池技术; 水体; 氮磷营养盐

## Research on Biological Filter Technology for Treating Nitrogen, Phosphorus and Nutrient Pollution in Water

Yuliang Wang

Beijing Suiyuan Technology Co., Ltd., Beijing, 100010, China

**Abstract:** With the accelerated development of industrialization and urbanization, water nutrient pollution has become a global environmental problem. Nitrogen and phosphorus pollution not only affect water quality and threaten drinking water safety, but can also lead to eutrophication of water bodies, causing the proliferation of algae and causing algal blooms, thereby damaging aquatic ecosystems and affecting biodiversity. Although traditional physical and chemical treatment methods can to some extent remove nitrogen and phosphorus from water, they are often costly and may introduce new pollutants or by-products. Therefore, seeking both economical and environmentally friendly water treatment methods has become a focus of research and practice. Biofiltration technology, with its low cost, high efficiency, and environmentally friendly characteristics, has become a powerful candidate technology for solving nitrogen and phosphorus pollution problems. Therefore, researching and optimizing biofilter technology to adapt to different water quality conditions and treatment needs is an important issue in current environmental protection and water treatment.

**Keywords:** biofilter technology; water bodies; nitrogen and phosphorus nutrients

## 1 引言

生物滤池技术是一种广泛用于水体处理的生态工程技术, 它通过模拟自然界中的净化过程来去除水中的污染物质, 尤其是氮、磷等营养盐。该技术利用特定的介质填充池体, 构建一个类似于自然生态系统的环境, 在其中培育微生物群落。这些微生物在有机物和无机营养物质的作用下生长繁殖, 通过其新陈代谢的作用, 将水中的有机污染物、氮、磷等营养盐转化为无害或低害的物质, 从而达到净化水质的目的。生物滤池的核心在于模拟自然界的生物净化机制, 通过物理过滤和生物降解相结合的方式, 去除水中的悬浮物、有机物质以及氮磷等营养盐。这一技术不仅高效, 而且对环境友好, 具有投资和运营成本低廉的优点, 因此在农业排水、市政废水、工业废水和地表水治理等多个领域得到了应用。设计合理的生物滤池能够实现对水体中氮磷等物质的高效去除, 其关键在于对滤料的选择、微生物的种类和数量以及

系统的运行条件等因素的优化。

## 2 水体氮磷污染的危害

水体氮磷污染的危害是一个复杂且多维的环境问题, 它的影响深刻而广泛。过量的氮和磷营养盐进入水体后, 作为生态系统中关键的限制性营养元素, 它们的富集导致藻类和水生植物的异常增长, 进而引发水华现象, 这不仅在视觉上破坏了水体的自然美观, 而且在生态功能上导致了原有水生生物种群结构的失衡。藻类的大量繁殖及其随后的死亡与分解, 耗尽了水中的溶解氧, 形成了缺氧区域, 进一步威胁到了鱼类及其他需氧水生生物的存活, 这种生态失衡的连锁反应还可能有毒物种的快速增长, 如某些产毒蓝藻, 这些毒素可以通过食物链影响到更高等生物, 包括人类。<sup>[1]</sup> 含氮磷的水体在处理过程中给饮用水供应系统带来了重负, 这不仅提高了污水处理的技术难度, 还显著增加了处理成本, 给经济发展带来压力。

### 3 生物滤池技术原理

#### 3.1 模拟自然净化过程在水体治理中的应用

在水体治理中,通过配置不同功能区域来模拟自然净化过程是一种高效且可持续的方法。这种方法的核心思想是借鉴自然界中的水循环和净化机制,通过科学设计分区,实现水质的自我净化。在这一过程中,各个功能区域承担不同的角色,共同构成一个多级净化系统。

首先,设置沉淀区,利用重力作用,使得较重的悬浮物质沉降。其次,人工湿地区域通过栽种水生植物,利用其根系及与之共生的微生物群落,吸收和转化水中的营养物质,如氮、磷等,从而减少对水体的污染负担。流水区可以增加水体的氧气含量,通过人工增氧或是设置小型瀑布、溪流来模拟自然界的曝气过程,改善水体的溶解氧条件,为微生物分解有机物提供必要的氧气。最后,通过设置生物栖息地,为鱼类和微生物提供栖息地,建立自然食物链,进一步维持生态平衡和促进水质的自然净化。这种生态工程技术不仅能够模拟并加强自然水体的自净能力,还能够提升生物多样性,增强水体的生态服务功能。<sup>[2]</sup>通过这样的综合性配置,水体不仅得到净化,还能够在景观和生态价值上得到提升,实现环境治理与生态修复的双重目标,这对于当前面临严重水体污染问题的社会具有重要意义。

#### 3.2 各类生物在水体自净中的协同作用

微生物作为生态系统中的重要组成部分,在水体的物质循环中扮演着基础而关键的角色,它们通过分解有机物,转化和循环营养物质,从而维持了水体生态的稳定性。特别是在氮、磷等营养盐的循环中,微生物通过其代谢活动能有效地将这些元素从无机态转化为有机态,或者,控制营养盐的浓度,降低水体的污染水平。藻类,在光合作用的帮助下,能够大量吸收水中的二氧化碳和营养盐,通过生长繁殖将无机物质转化为有机质。同时,藻类的存在为水生生物提供了食物来源,是水生生态食物链的基础。水生植物则通过其独特的根茎系统,不仅能稳定水体底层的沉积物,还能微生物提供一个丰富的栖息地,以及通过根部分泌物促进微生物的生长,增强水体的净化能力。水生植物的存在还能降低水体中悬浮物的含量,提高水质的透明度,并通过吸收和沉积作用,减少水中的营养盐,防止藻类过度繁殖引起的水华问题。

#### 3.3 生态系统在污染物降解中的作用机制

自然生态系统在处理 and 净化环境污染物方面显示出了独特的能力,这是通过生物和非生物组分之间的交互作用所实现的。这些系统能够促进污染物的降解、吸收和转化,从而减少环境中有害物质的浓度和影响。其中,微生物群落在污染物的生物降解过程中发挥着核心作用,它们通过自身的代谢活动,将有机污染物转化为无害或较低毒性的物质。植物通过其根系进行吸收作用,能够从土壤和水中吸收重金属和其他有机污染物,并通过生物积累和生物转化机制将其固

定或转化为其他形态,从而减少了这些物质的生物可利用性和毒性。在此过程中,植物还可以改善根际环境,促进微生物的增殖和活动,进一步增强污染物的生物降解。生态系统中的微生物、植物和藻类三者之间存在着复杂的相互作用和协同效应,这些生物过程与非生物过程(如吸附、离子交换)共同构成了一个多维的污染物降解网络。通过这样的生态工程技术,可以有效地实现污染物的降解、吸收和转化,这对于环境保护和污染治理具有重要的实际意义。

### 4 生物滤池处理氮磷污染的策略

#### 4.1 应用分区配置法去除氮磷

在水环境治理中,氮和磷是最关键的营养物质,其过量会导致水体富营养化,进而引发一系列生态与水质问题。现代水体修复技术中,通过配置氧化区、无氧区和植被区等特定功能区域,实现了针对性的氮磷去除,有效地模仿了自然水体的净化过程。

氧化区是指通过人工或自然方式实现增氧的区域,常见的做法包括设置曝气装置和人工瀑布。在这个区域,利用氧气的提供,促进好氧微生物的生长,这些微生物可以高效地将溶解性有机氮(如氨氮)氧化为硝酸盐。这一过程称为硝化作用,是氮去除过程中的关键步骤。接下来,硝化后产生的硝酸盐在无氧区通过反硝化过程被进一步处理,无氧微生物将硝酸盐还原为氮气,从而将氮从水体中除去。无氧区的配置通常通过限制空气接触、降低溶解氧水平或使用特定的生物膜反应器来实现。植被区的配置则旨在利用水生植物的吸收作用。<sup>[3]</sup>这些植物能够吸收水中的氮、磷等营养物,并将其用于自己的生长发育。植被区不仅可以直接通过根部吸收营养盐,还能为微生物提供一个适宜的栖息环境,这些微生物进一步协助植物吸收和转化营养物,提高了整体的净化效率。另外,植物的生长还能促进沉积物的稳定和有机物的分解,降低水体中悬浮物的含量,进一步减少营养盐的再悬浮。

#### 4.2 增强微生物选择与降解能力

高效的微生物可以针对性地分解复杂的有机物,转化有害污染物,从而实现环境污染的生物修复。微生物的选育通常基于其代谢特性和降解能力,如耐受性、特异性以及与污染物的亲和力。

通过环境采样获得微生物群落,然后利用生化实验、基因测序等方法筛选出具有高效降解特定污染物能力的菌株。通过基因工程技术,可以进一步提高微生物的降解效率。这些菌株在降解难度较高的污染物,如多环芳烃、重金属和持久性有机污染物方面展现出较野生型菌株更强的处理能力。进一步地,通过构建合成微生物联合体,即将多种具有互补代谢路径的微生物组合起来,可以实现复杂污染物的降解。这些微生物联合体在自然界中以共生形式存在,或者通过人工培育组合而成,能够各司其职,相互协作,以达到比

单一菌种更高效的污染物处理效果。

### 4.3 优化运行参数提高去除污染效率

运行参数的优化涉及对处理系统中各个关键变量的精确控制和调整,包括但不限于 pH 值、温度、反应时间、溶解氧水平、搅拌速率、营养物质浓度以及污染物的初始浓度等。

pH 值的控制对于大多数生物化学过程至关重要,它影响微生物的活性以及某些化学物质的溶解度和离子状态<sup>[4]</sup>。温度是调节微生物代谢速率的重要因素。温度的适当升高通常能加速化学反应速率和微生物的生长,但超出特定阈值可能会导致微生物活性降低或死亡,因此温度的优化需要权衡反应速率与生物活性。溶解氧水平对于好氧处理过程尤为重要。它直接影响到好氧微生物的呼吸作用,进而影响污染物的生物降解过程。适当增加溶解氧可以提高好氧降解效率,但同时也要考虑成本和能耗。营养物质的浓度需要优化以保证微生物的有效生长,缺乏必要的营养物质会限制微生物的活性,而过量则可能导致微生物生长过快,消耗过多的氧气,从而影响去除效率。搅拌速率影响混合均匀性和氧气传递效率,在固液分离过程中尤为关键。适当的搅拌能够保证污水中的污染物与微生物充分接触,提高去除效率。污染物的初始浓度可能会影响处理效率,太高的浓度可能会抑制微生物活性,而太低的浓度则可能导致处理不经济。

### 4.4 利用预处理与间歇运行方式处理高浓度污染

预处理是处理高浓度污染物的第一步,目的是降低污染物的浓度到一个对生物处理系统可接受的水平,或者改变污染物的形态以提高其生物可降解性。预处理方法包括物理、化学和生物技术,例如稀释、吸附、沉淀、中和、氧化还原反应以及水解等。这些方法能够有效减轻后续生物处理阶段的负担,避免因污染物浓度过高导致的微生物活性抑制。

间歇运行是另一种常用的应对高浓度污染的操作策略。

与连续运行相比,间歇运行允许系统在较短的时间内处理高浓度污染物,然后在非运行期间让微生物恢复活性和增殖。这种操作模式可以减小微生物受到的毒性冲击,同时也提供了一种控制生物量和防止系统过载的方法。在实际应用中,预处理和间歇运行往往相结合使用,以实现最佳的处理效果。预处理通过降低污染物的初始浓度和毒性,为间歇运行奠定基础,而间歇运行通过调节操作周期和恢复期,优化微生物的降解活性。

## 5 结语

综上所述,生物滤池技术在水体中氮磷营养盐污染处理方面展现出巨大的潜力和广阔的应用前景。通过模拟自然净化过程及利用微生物、藻类和水生植物在水体自净中的协同作用,生物滤池不仅实现了对氮、磷等水体营养盐的有效去除,还促进了生态平衡与生物多样性的恢复。面对环境问题,尤其是水体污染的严峻挑战,我们必须持续优化生物滤池技术的设计与应用,确保水质治理与生态保护的双重目标得以实现。未来的研究应着重于滤料的优化、微生物群落的构建与管理以及系统运行条件的精确控制,以提高处理效率和系统稳定性。同时,加强与其他绿色技术的结合使用,发展集成化水处理方案,将进一步提升生物滤池技术在实际应用中的经济性和环境适应性。

### 参考文献:

- [1] 季永波.曝气生物滤池技术在生活污水处理中应用[J].城市建筑与发展,2023,4(13).
- [2] 潘红.曝气生物滤池在滨海污水处理系统中的应用研究[J].环境科学与管理,2023,48(7):76-81.
- [3] 高明瑜.生物滤池技术在城市污水处理厂废气净化中的应用研究[J].中国资源综合利用,2021,39(2):30-32.
- [4] 邢娜,韩佳,金林,等.生物慢滤技术用于饮用水水质净化的研究进展[J].当代化工研究,2021(21):158-160.