

# 生物增强技术在稠油污水处理系统中的应用研究

王蕴博

辽河油田分公司曙光采油厂污水处理大队

**【摘要】**本文旨在探索生物增强技术在稠油污水处理系统中的应用，以提升稠油污水的处理效果。研究发现，生物增强技术显著提高了稠油污水的COD去除率，改善了出水水质，与未应用该技术的处理系统相比，出水水质指标如COD、BOD及油含量均得到明显改善，微生物活性增强，污泥产量有所降低。这表明生物增强技术在稠油污水处理领域具有广阔的应用前景，不仅为稠油污水处理提供了一种高效、经济且环保的解决方案，也为未来污水处理技术的发展方向提供重要参考。

**【关键词】**稠油污水；生物增强技术；污水处理；微生物；应用

Application research of biological enhancement technology in heavy oil wastewater treatment system

Wang Yunbo

Shuguang Oil Production Plant Sewage Treatment Brigade of Liaohe Oilfield Branch

**【Abstract】**This article aims to explore the application of biological enhancement technology in heavy oil wastewater treatment systems to improve the treatment efficiency of heavy oil wastewater. Research has found that biological enhancement technology significantly improves the COD removal rate of heavy oil wastewater and improves the effluent quality. Compared with treatment systems that have not applied this technology, effluent quality indicators such as COD, BOD, and oil content have been significantly improved, microbial activity has been enhanced, and sludge production has been reduced. This indicates that bio enhanced technology has broad application prospects in the field of heavy oil wastewater treatment, providing not only an efficient, economical, and environmentally friendly solution for heavy oil wastewater treatment, but also an important reference for the future development direction of wastewater treatment technology.

**【Key words】**heavy oil wastewater; Biological enhancement technology; Wastewater treatment; microorganism; application

## 引言

在稠油的开采及加工过程中，由于其高密度特性，往往伴随着大量污水的产生。这些稠油污水不仅成分复杂，而且含有高浓度的有机物和有毒物质，对环境造成了严重威胁。尽管许多石油企业已积极设置污水处理系统，但实际处理效果仍不够理想，难以满足日益严格的环保要求。现有稠油污水处理系统在运行过程中暴露出诸多问题，主要包括处理效率低下、运行成本较高以及对复杂水质适应性不足等。特别是在面对稠油污水中的难降解有机物时，传统处理方法如物理法和化学法往往难以达到预期效果。此外，稠油污水的可生化性较差，进一步限制了生物处理技术的应用。基于此，生物增强技术的引入显得尤为必要。该技术通过投加高效微生物来提升系统的降解能力，然而其具体应用仍需结合实际操作流程进行优化，以解决如何提高处理效果的核心问题。

## 1. 生物增强技术概述

### 1.1 生物增强技术概念

生物增强技术是一种通过向污水处理系统中引入特定高效微生物，以提升系统整体处理能力的新型技术。其核心原理在于利用这些外源性微生物的代谢活性，加速对污水中

有机污染物的降解过程。在稠油污水处理领域，这一技术通过优化微生物群落结构，弥补了传统处理方法中微生物种类单一、降解效率低下的不足。此外，生物增强技术不仅能够强化现有处理系统的性能，还能够一定程度上改善污泥沉降性，减少污泥产量，从而进一步优化污水处理效果。

### 1.2 生物增强技术优势

主要体现在成本低廉、效率高、稳定性强以及环境友好等方面。首先，相较于传统的化学氧化或物理吸附方法，生物增强技术无需大量使用昂贵的化学试剂，从而大幅降低了处理成本。其次，该技术通过引入高效微生物，能够快速降解污水中的有机污染物，显著提高处理效率。此外，生物增强技术具有较高的稳定性，能够在复杂多变的污水环境中保持较长时间的运行效果。最后，由于该技术主要依赖于微生物的代谢活动，因此对环境的影响较小，符合可持续发展的理念。

### 1.3 生物增强技术应用条件

生物增强技术在应用时需满足一系列特定条件，包括适宜的温度、pH值、溶解氧浓度以及充足的营养物质供给。研究表明，微生物的生长和代谢活性受到环境因素的显著影响。例如，适宜的温度范围通常为20-35℃，在此范围内，微生物的代谢速率最高，处理效果最佳；此外，pH值的波动也会对微生物活性产生重要影响，通常建议将污水pH值

控制在 6.5–8.5 之间，以确保微生物的正常生长。溶解氧是另一个关键因素，特别是在好氧处理过程中，溶解氧浓度需维持在 2–4mg/L，以满足微生物的代谢需求。同时，稠油污水中氮、磷等营养物质的缺乏往往成为制约生物处理效果的主要因素。根据相关研究，当污水中 COD: N: P 比例接近 100: 5: 1 时，微生物的生长和代谢活性最为理想。因此，在实际应用中，需通过定期投加尿素、磷酸二氢钾等营养物质，以满足微生物生长需求，从而强化生物处理效果。

## 2. 稠油污水特性分析

### 2.1 稠油污水来源与成分

主要来源于稠油和超稠油的开采中，由于蒸汽吞吐等技术的应用，产生了大量含有高浓度污染物的废水。其成分极为复杂，包括有机物、无机物以及油类等多种污染物。有机物主要包括环烷烃、苯系衍生物等难降解物质，这些物质在石油开采过程中因添加助剂而进一步增多；无机物则以高浓度的矿化度为主，包含多种金属离子和非金属离子。此外，稠油污水中还含有大量乳化油和悬浮物，这些成分的存在使得其处理难度显著增加。研究表明，稠油污水中有机污染物种类多达 66 种，其中多数为难降解物质，这对传统生物处理工艺提出了严峻挑战。

### 2.2 稠油污水水质特点

主要体现在高 COD、高矿化度以及低 B/C 值等方面。研究发现，超稠油污水的 COD<sub>Cr</sub> 浓度通常在 1000–3000mg/L 之间，且受石油开采周期与强度的影响波动较大。高矿化度则进一步加剧了污水处理的复杂性，因为高盐环境对微生物活性具有显著抑制作用。此外，稠油污水的 B/C 值通常低于 0.2，表明其可生化性极差，难以通过常规生物处理工艺实现有效降解。这种低 B/C 值的特点限制了生物处理技术在稠油污水处理中的应用效果，需采取额外的措施如水解酸化等预处理手段来提升污水的可生化性。

### 2.3 稠油污水处理难点

主要包括油水密度差小、乳化严重以及可生化性差等问题。由于稠油黏度大且油水密度差较小，传统的物理分离方法如重力沉降和气浮难以实现高效油水分离。同时，乳化现象严重导致油滴粒径细小，进一步增加了分离难度。此外，稠油污水中难降解有机物的比例较高，使得其可生化性极差，传统生物处理方法难以达到理想效果。现有处理工艺通常需要结合多种技术手段，如预处理、生物降解和深度处理，才能勉强满足排放标准，但这也带来了工艺流程复杂、运行成本高等问题。因此，开发新型高效的稠油污水处理技术仍是当前研究的重点方向。

## 3. 生物增强技术在稠油污水处理中的应用实验

### 3.1 实验设计

本实验旨在探究生物增强技术在稠油污水处理中的实际应用效果，重点研究微生物菌种筛选及营养物投加对污水

处理效率的影响。实验对象为取自某油田稠油污水处理装置的真实污水水样，其水质特性包括高 COD 浓度、低 B/C 值以及氮磷等营养物质的缺乏。实验方法包括：一是从稠油污水中筛选高效降解菌，并评估其降解能力；二是在污水处理系统中投加适量的氮磷营养物，以优化微生物的生长环境。此外，实验还结合了稠油污水的水质特点，确保实验条件与实际处理需求相符。

### 3.2 实验材料

实验所需微生物菌种来源于稠油污水水样中的土著菌群，通过富集培养和分离纯化获得具有高效降解能力的菌株。营养物则选用尿素作为氮源，磷酸二氢钾作为磷源，以满足微生物生长所需的 C、N、P 比例要求。实验仪器包括生化培养箱、离心机、分光光度计等，用于微生物培养和污水水质分析，此外，实验还采用了 COD 测定仪、BOD 测定仪等专业设备，以确保数据的可靠性。

### 3.3 实验过程

实验过程分为微生物筛选与培养、营养物投加实验及污水处理流程三个主要阶段。首先，从稠油污水水样中筛选出高效降解菌，通过平板划线法分离单菌落，并在 LB 培养基中进行扩大培养。随后，将筛选出的菌株接种至含有稠油污水的锥形瓶中，在 30℃、120 rpm 条件下振荡培养 48 小时，以评估其降解能力。其次，在营养物投加实验中，根据水质检测结果，按 COD: N: P=100: 5: 1 的比例向污水中投加尿素和磷酸二氢钾，并定期监测氮磷含量变化。最后，在污水处理流程中，将接种后的污水依次经过隔油池、厌氧池和好氧池处理，记录各阶段的关键数据，包括 COD 浓度、微生物生物量及水质指标变化。

### 3.4 实验结果分析

实验结果表明，通过筛选高效降解菌并投加适量营养物，稠油污水处理效率得到了显著提升，表明污水的可生化性明显改善。此外，营养物的投加显著促进了微生物的生长，进一步验证了氮磷缺乏是制约处理效果的主要因素。分析还发现，COD 去除率与微生物生物量呈正相关关系，而温度、pH 值等环境因素对实验结果也有一定影响。这些数据为优化生物增强技术的应用提供了重要依据。

## 4. 生物增强技术应用效果与影响因素

### 4.1 应用效果评估

研究表明，该技术能够显著提高稠油污水的 COD 去除率，与此同时，微生物活性的提升也是生物增强技术的重要体现之一，其对有机物的降解能力显著增强，从而改善了整体处理效率。在污泥产量方面研究发现，利用生物增强技术可以降低约 40% 的污泥量，同时提高有机物去除率近 25%。与未应用生物增强技术的传统处理方法相比，这些指标均表现出明显优势，尤其是在处理难降解有机污染物时，生物增强技术展现了更强的适应性和稳定性。

### 4.2 影响因素分析

生物增强技术影响因素主要包括污水水质波动、微生物

种类与数量、营养物投加量以及环境条件等。首先,污水水质波动对处理效果具有显著影响,其次,微生物种类与数量的选择直接决定了系统的降解能力,不同种类的微生物对特定污染物的适应性存在差异,因此需根据稠油污水的成分筛选高效菌种。此外,营养物投加量也是关键因素之一,研究表明,稠油污水中氮、磷等营养物质的缺乏会制约微生物的生长繁殖,从而影响处理效果。最后,环境条件如温度、pH值和溶解氧等对微生物的活性同样具有重要影响。例如,适宜的温度范围能够促进微生物的新陈代谢,而过高或过低的pH值则可能抑制其活性。这些因素共同作用,决定了生物增强技术在实际应用中的表现。

#### 4.3 优化措施探讨

首先,稳定污水水质是提升处理效果基础,可通过预处理工艺去除部分难降解有机物和有毒物质,减少对微生物的抑制作用;其次,筛选高效微生物菌种是提高处理效率关键,建议结合稠油污水具体成分,选择具有高降解能力的菌种进行接种;此外,精准控制营养物投加量也至关重要,应根据污水中的氮、磷含量及微生物需求,合理补充营养物质以实现最佳处理效果。在环境条件调控方面,可通过优化曝气系统、调节pH值等手段,为微生物提供适宜生长环境;同时,定期监测微生物活性和水质指标,及时调整运行参数,有助于进一步提升系统稳定性和处理效能。这些优化措施的实施将为该技术在稠油污水处理领域的广泛应用奠定坚实基础。

### 5. 生物增强技术与其他处理技术联用

#### 5.1 联用技术介绍

生物增强技术与物理法、化学法的联用处理稠油污水已成为当前研究的重要方向。物理法中,膜分离技术通过选择性透过膜材料实现污染物的高效分离,能够有效去除悬浮物和部分有机物;气浮法则利用微小气泡将油滴和悬浮颗粒带至液面进行分离,适用于高乳化性稠油污水的预处理。化学法则包括氧化技术和混凝技术。生物增强技术与这些方法的联用旨在充分发挥各技术的优势,如通过物理或化学预处理降低污水中的油含量和悬浮物浓度,为后续生物处理创造有利条件,同时利用生物降解去除残留的有机污染物,从而提高整体处理效率并减少二次污染的风险。

#### 5.2 联用效果分析

研究表明,生物增强技术与物理法或化学法的联用能够显著提升稠油污水处理的效果。例如,在某稠油污水处理试验中,采用“除油罐-两级气浮-生物膜接触氧化”工艺,先通过物理除油和气浮去除大部分悬浮物和油类,再经生物膜法降解剩余有机物,最终使出水COD浓度稳定在120 mg/L以下,达到了外排标准。此外,联用技术还表现出成本优势,通过合理分配各工艺段的负荷,可减少化学药剂的使用量和浮渣产生量,从而降低运行成本。研究表明,联用技术能够克服单一技术的局限性,实现更高的处理效率和更好的经济效益。

#### 5.3 联用技术发展前景

生物增强技术与其他处理技术的联用在未来稠油污水处理领域展现出广阔的应用前景。随着稠油开采规模的扩大和环保要求的日益严格,传统单一处理技术已难以满足复杂水质的处理需求,而联用技术则能够通过多工艺协同作用实现更高效的污染物去除。然而,该技术发展仍面临一些挑战,例如如何应对水质波动对系统稳定性的影响等。尽管如此,随着新型膜材料、高效氧化剂和耐极端环境微生物的不断开发,联用技术有望在稠油污水处理中发挥更大的作用,为实现污水资源化和环境保护目标提供技术支持。

### 6. 结论

(1) 生物增强技术在稠油污水处理系统中的应用研究取得显著成果,尤其是在提高污水处理效率、改善出水水质以及降低运行成本方面表现突出,还表现出较强的环境适应性,这为其在实际工程中的应用提供了可靠保障。

(2) 未来应进一步筛选和驯化适应性强、降解效率高的微生物菌种,特别是针对稠油污水中难降解有机物专用菌种;深入研究微生物与环境因素之的相互作用机制,建立更为精确的数学模型以指导工艺优化;加强生物增强技术与其他处理技术的联用研究,探索如何通过多技术集成实现更高的处理效率和更低的运行成本。

(3) 生物增强技术为稠油污水处理提供了一种高效、经济且环保的解决方案,随着相关研究不断深入和技术逐步完善,该技术有望在未来稠油污水处理领域发挥更加重要的作用,为实现资源高效利用和环境可持续发展提供有力支持。

### 参考文献

- [1]张虎虎.稠油污水处理系统生物增强技术的应用[J].清洗世界, 2020, 36(6): 35-36.
- [2]黄亮;姜晓艳;徐全数;方力;江伟;周洲;罗一菁;张忠智.有机物高效降解菌的筛选及其在石油炼化污水中的应用[J].化学与生物工程, 2018, 35(10): 44-48.
- [3]刘新红;张清军;赵俊宇;陈玉琼;莫苇.稠油污水处理系统生物增强技术研究与应用[J].中外能源, 2007, 12(5): 104-106.
- [4]张钰琪;全坤;聂凡;岳长涛;谢加才;吴宣章;马跃.稠油污水处理技术研究进展[J].油气田环境保护, 2024, 34(1): 1-6.
- [5]赵艳.超稠油污水组成特性与可生化性研究[J].轻工科技, 2024, 40(1): 134-137.
- [6]乔明.稠油及超稠油污水达标外排处理工艺研究[J].中国环保产业, 2014, (11): 55-59.