

# 微生物技术在油田污水处理中的应用研究进展

李平原

新疆科力新技术发展股份有限公司 新疆 克拉玛依 834000

**摘要:** 本文概述了油田污水的特点及处理流程,探讨了微生物技术在油田污水处理中的应用原理及优势。面对难降解有机物、高含油量与悬浮物、生物毒性等处理难点,微生物技术通过筛选与培育新型菌种、优化与集成处理技术,以及在特殊油田污水中的应用探索,展现出高效、经济、环保的处理效果。通过综述微生物技术在油田污水处理中的最新研究进展,旨在为油田污水处理提供技术参考和理论支持,推动石油工业的可持续发展。

**关键词:** 微生物技术; 油田污水处理; 应用研究

## 1 油田污水处理概述

油田污水处理是石油开采过程中不可或缺的一环,它直接关系到环境保护、资源利用以及油田生产的可持续性。在石油开采和加工过程中,会产生大量的含油污水,这些污水通常含有石油烃类、悬浮物、溶解性盐类以及有毒有害的重金属离子等污染物,若不经妥善处理直接排放,将对自然环境和人类健康构成严重威胁。油田污水处理的主要目标是通过物理、化学或生物的方法,有效去除污水中的各类污染物,使其达到国家或地方规定的排放标准,甚至实现水资源的再利用。处理过程通常包括预处理、主体处理和深度处理三个阶段。预处理阶段主要通过重力沉降、除油池等设施去除污水中的大颗粒悬浮物和浮油;主体处理则采用更为精细的技术,如混凝沉淀、气浮、过滤等,以进一步去除细小悬浮物、胶体物和溶解性有机物;深度处理则针对特定污染物进行去除,如采用膜分离、吸附、生物降解等技术<sup>[1]</sup>。近年来,随着环保法规的日益严格和技术的不断进步,油田污水处理技术也在不断创新和完善。其中,微生物处理技术因其处理效率高、运行成本低、环境友好等特点,逐渐成为油田污水处理领域的研究热点。通过培养特定的微生物群落,利用其生物降解作用,可以将污水中的有机物转化为无害或低毒物质,实现污水的净化。

## 2 微生物在污水处理中的应用原理

### 2.1 微生物降解有机物的机制

有机物是污水中主要的污染物之一,来源广泛,包括生活污水、工业废水等。微生物通过吸附、吸收和降解这些有机物来获取能量和生长所需的营养物质。具体来说,好氧微生物通过氧化作用将有机物分解为二氧化碳、水和生物质,这一过程称为有氧呼吸,是污水处理厂中最常见的有机物去除方式。而在缺氧或厌氧条件下,厌氧微生物通过发酵或还原作用,将有机物转化为

甲烷、氢气、硫化氢等气体和生物质,这一方式在某些特定的污水处理工艺,如厌氧消化池中,得到广泛应用。微生物的有机物降解过程不仅高效,而且相对环境友好,能够有效减少污水中的化学需氧量(COD)和生物需氧量(BOD),是污水处理的重要机制之一。

### 2.2 微生物对有毒物质的转化与去除

污水中除了有机物外,还可能含有重金属、有毒有机化合物等有害物质。微生物通过一系列的生物转化作用,能够有效地将这些有毒物质转化为无害或低毒的物质。对于重金属,一些微生物具有吸收、沉淀或转化其形态的能力,从而减少对环境和生物的毒性。例如,某些细菌能通过形成不溶性的金属硫化物来固定重金属。对于有毒有机化合物,微生物能够通过特定的酶促反应,如氧化、还原、水解、酸化等,将这些化合物逐步分解为二氧化碳、水和无机盐等小分子物质。微生物的这一生物转化功能,使得污水中的有毒物质得到有效去除,极大地保护了水生生态系统的健康<sup>[2]</sup>。

### 2.3 微生物在水体自净中的作用

水体自净是自然界中一种重要的自然现象,它指的是受污染的水体通过物理、化学和生物作用逐渐恢复清洁的过程。其中,微生物在这一过程中发挥着举足轻重的作用。在自然水体中,存在着大量种类繁多的微生物群落,它们构成了复杂的生态系统。这些微生物不仅能够降解水体中的有机物,减少富营养化现象,还能通过竞争、捕食、共生等相互作用,维持生态系统的平衡和稳定。在污水排入水体后,微生物迅速响应,通过附着、繁殖和生物降解等活动,有效降低水体中的污染物浓度,恢复水体的透明度和生态平衡。微生物还能促进水中溶解氧的恢复,增强水体的自净能力,是水体自我修复的重要参与者。微生物的这一系列功能,为水资源的可持续利用和水环境的保护提供有力的自然屏障。

### 3 油田污水处理难点与挑战

#### 3.1 油田污水的难降解有机物处理

油田污水中含有的难降解有机物是处理过程中的一大难点。这些有机物通常来源于石油开采、加工及运输过程中使用的各种化学添加剂,如钻井液、压裂液、采油助剂等,它们结构复杂,稳定性高,难以被常规的生物或化学方法有效降解。难降解有机物的存在不仅增加了污水的化学需氧量(COD)和生物需氧量(BOD),还可能对水体生态系统产生长期负面影响。处理这些难降解有机物需要采用高级氧化、电化学、膜分离等先进技术,但这些方法往往成本高昂,操作复杂,且处理效率受多种因素影响,如温度、pH值、反应时间等,因此在实际应用中面临诸多挑战。

#### 3.2 油田污水的高含油量与悬浮物处理

油类物质通常以游离态、乳化态或溶解态存在于污水中,而悬浮物则包括泥沙、无机盐、微生物菌体等。高含油量和悬浮物不仅影响污水的透明度,还可能堵塞管道和设备,降低处理效率。传统的重力沉降、气浮、过滤等方法虽然能有效去除部分油和悬浮物,但对于微小油滴和胶体颗粒的去除效果有限。近年来,虽然超滤、纳滤、反渗透等膜技术得到了广泛应用,但高昂的投资和运行成本,以及膜污染和更换问题,限制了其在油田污水处理中的大规模推广。

#### 3.3 油田污水的生物毒性问题

油田污水中含有的某些化学物质,如重金属、酚类、氰化物等,具有显著的生物毒性,对微生物的生长和代谢活动产生抑制作用,甚至导致微生物死亡。生物毒性物质的存在不仅降低了生物处理法的效率,还可能对水体生态系统造成长期危害。处理这类污水时,需要采取特殊的预处理措施,如化学沉淀、氧化还原、吸附等,以降低生物毒性物质的浓度。然而,这些预处理方法往往增加了处理成本,且可能产生二次污染。

## 4 微生物技术在油田污水处理中的应用

#### 4.1 微生物絮凝技术

微生物絮凝技术是一种利用微生物或其代谢产物(如多糖、蛋白质等)作为絮凝剂,通过吸附、架桥、卷扫等机制,有效去除污水中悬浮物、胶体及部分溶解性有机物的方法。在油田污水处理中,微生物絮凝技术展现出了独特的优势。与传统无机或有机絮凝剂相比,微生物絮凝剂具有无毒、可生物降解、不造成二次污染等特点。它能够高效去除油田污水中的油滴、悬浮固体以及部分溶解性有机物,提高水质透明度,降低化学需氧量(COD)和悬浮物(SS)含量。微生物絮凝技术还

具有良好的环境适应性,能够在较宽的pH值和温度范围内保持稳定性能,为油田污水处理提供一种绿色、高效的新途径<sup>[1]</sup>。

#### 4.2 生物膜技术

生物膜技术是一种基于生物膜上微生物的附着生长和代谢活动,实现污水中有机物、氮、磷等污染物去除的技术。在油田污水处理中,生物膜技术被广泛应用于去除难降解有机物、提高出水水质和降低运行成本等方面。生物膜上的微生物种类丰富,包括细菌、真菌、原生动物等,它们通过吸附、降解等过程,有效去除污水中的有机物、氨氮等污染物。同时,生物膜技术还具有良好的抗冲击负荷能力和自我调节能力,能够应对油田污水水质波动大的特点。此外,生物膜技术的运行管理相对简单,占地面积小,易于实现自动化控制,为油田污水处理提供一种高效、经济的解决方案。

#### 4.3 曝气生物滤池技术

在油田污水处理中,曝气生物滤池技术通过向滤池中投加曝气装置,提供充足的氧气,促进微生物的生长和代谢活动,同时利用滤料表面的生物膜去除污水中的有机物、氨氮等污染物。曝气生物滤池技术具有处理效率高、占地面积小、出水水质好等优点。它能够有效去除油田污水中的难降解有机物,提高出水水质,同时减少污泥产量,降低运行成本。此外,曝气生物滤池技术还具有良好的适应性和灵活性,可以根据油田污水的特点和处理需求进行定制化设计,为油田污水处理提供一种高效、灵活的处理方案。

#### 4.4 厌氧生物处理技术

在油田污水处理中,厌氧生物处理技术主要应用于高浓度有机废水的处理,如油田采油废水、压裂废水等。这些废水通常含有大量难降解有机物和悬浮物,采用厌氧生物处理技术不仅可以实现有机物的高效去除,还可以回收产生的甲烷等清洁能源,实现资源的循环利用。厌氧生物处理技术的优点在于其能耗低、污泥产量少、处理成本低,且对有机物的降解效率高,特别适用于处理高浓度有机废水。在油田污水处理中,厌氧生物处理技术通常与其他技术结合使用,以形成更为高效、稳定的处理系统。例如,可以将厌氧生物处理技术与好氧生物处理技术结合,形成厌氧-好氧(A/O)处理系统,通过厌氧阶段去除大部分有机物,降低后续好氧阶段的负荷,同时利用好氧阶段的硝化作用去除氨氮等污染物。厌氧生物处理技术还可以与膜技术、生物强化技术等相结合,进一步提高处理效率和出水水质。

## 5 微生物技术在油田污水处理中的研究进展

### 5.1 新型微生物菌种的筛选与培育

传统微生物菌种在面对油田污水复杂的成分和恶劣的环境条件时,往往表现出处理效率低、适应性差等问题。研究人员通过采集油田周边土壤、水体及污染区域的微生物样本,利用高通量测序、宏基因组学等现代生物技术手段,深入挖掘潜在的高效降解菌种资源。通过富集培养、诱变育种、基因工程等技术手段,培育出了一批能够适应高盐度、高温、高油浓度等极端环境的微生物菌种。这些新型菌种不仅具有更强的有机物降解能力,还能有效去除油田污水中的重金属、酚类、氰化物等有毒有害物质,为油田污水处理提供了更为高效、环保的解决方案<sup>[4]</sup>。

### 5.2 微生物处理技术的优化与集成

通过优化微生物处理工艺参数,如温度、pH值、溶解氧浓度等,以及改进反应器结构和操作流程,实现了微生物处理技术的高效运行和稳定运行。在优化工艺参数方面,研究人员通过大量实验和数据分析,确定不同菌种在不同环境条件下的最适生长条件和降解性能,为工艺参数的调整提供了科学依据。同时,他们还开发了智能监控系统和自动化控制技术,实现微生物处理过程的实时监测和自动调节,提高处理效率和稳定性。在反应器结构和操作流程的改进方面,研究人员设计了多种高效、节能的反应器,如流化床反应器、生物转盘反应器、膜生物反应器等,以适应不同水质和处理需求。同时,还开发了多种微生物处理技术的集成工艺,如厌氧-好氧(A/O)、序批式活性污泥法(SBR)与生物膜技术的结合等,通过优化不同技术之间的协同效应,实现了油田污水的高效处理。其中,厌氧-好氧(A/O)集成工艺尤为引人注目。在厌氧阶段,通过厌氧微生物的作用,将油田污水中的高分子有机物转化为低分子有机物,同时产生甲烷等清洁能源;在好氧阶段,利用好氧微生物的氧化作用,进一步降解有机物,并去除氨氮等污染物。

### 5.3 微生物技术在特殊油田污水(如高盐度、高温、

### 高含油)处理中的应用探索

面对特殊油田污水,如高盐度、高温、高含油等复杂环境,微生物技术展现出其独特的优势和潜力。在高盐度油田污水的处理中,通过筛选和培育耐盐微生物菌种,以及优化处理工艺和反应器结构,实现了对高盐度油田污水的高效处理。这些耐盐微生物不仅能够高盐环境下正常生长和代谢,还能有效降解有机物和去除氮、磷等污染物。在高温油田污水的处理中,同样通过筛选和培育耐高温微生物菌种,以及开发耐高温反应器和配套设备,实现了对高温油田污水的高效处理。这些耐高温微生物能够在高温环境下保持稳定的生长和降解能力,为高温油田污水的处理提供了有力保障。利用微生物的代谢作用和生物膜技术的吸附作用,将油田污水中的油滴和悬浮物有效去除,同时降解有机物和去除氮、磷等污染物,提高了出水水质和稳定性。

### 结束语

综上所述,微生物技术在油田污水处理领域具有广阔的应用前景和显著的环保优势。随着研究的不断深入和技术的不断创新,微生物技术将更加高效、稳定地处理油田污水,为石油工业的绿色发展提供有力保障。未来,期待微生物技术在油田污水处理领域取得更多突破性进展,为保护自然环境和人类健康做出更大贡献。

### 参考文献

- [1]冯金禹,闫铁,李卓,等.钻井作业废弃物处理技术研究与应用进展[J].应用化工,2019,48(8):1966-1969,1984. DOI:10.3969/j.issn.1671-3206.2019.08.045.
- [2]董怀荣,李宗清,夏晔,等.胜利油田钻井液固液分离用絮凝剂的优选实验及相关分析[J].西部探矿工程.2018,(7).DOI:10.3969/j.issn.1004-5716.2018.07.019.
- [3]耿学礼,邢希金,张杰,等.PEC钻井液体系固液分离技术实验研究[J].石油化工应用.2018,(6).DOI:10.3969/j.issn.1673-5285.2018.06.003.
- [4]刘立远.油田炼化含油污水处理技术及排放分析[J].工程建设,2023,6(9).DOI:10.33142/ec.v6i9.9385.