

# 超声空化技术在含油污水处理领域的应用及经济效益分析

兰宁 杨建 荣令恩 庞鸿宇 焦洪静 (北京蓝星清洗有限公司, 北京 100160)

**摘要:** 超声空化技术作为一种先进的物理处理方法, 已在含油污水处理中展现出了显著的效果。通过利用超声波在液体中产生的空化效应, 可以有效地分解和去除污水中的油类污染物, 同时减少化学药剂的使用, 降低二次污染风险。该技术不仅提高了处理效率, 而且由于其操作简便、能耗较低的特点, 在实际应用中具有较高的经济效益。合理设计和优化超声空化系统参数, 如频率、功率密度等, 可以进一步提升处理性能, 实现含油污水的高效治理。结合其他处理工艺, 如生物降解或膜分离, 还可以构建更为完善的污水处理体系, 为工业含油废水处理提供了一条绿色、经济的新途径。

**关键词:** 超声空化, 含油污水, 经济效益, 处理效率, 环保

## 0 引言

含油污水作为工业排放的重要组成部分, 其有效治理对于环境保护和资源循环利用至关重要。传统处理方法往往面临成本高、效果不稳定等问题。随着科技的进步, 超声空化技术以其独特的机制和优势逐渐受到关注。它能够产生强烈的机械剪切力和局部高温高压环境, 促进油水分离并加速有机物的降解过程。本论文将探讨如何通过超声空化技术来提高含油污水的处理效果, 并分析由此带来的经济效益, 旨在为相关领域的研究与实践提供参考依据。文中还将讨论不同条件下超声参数对处理结果的影响, 以及与其他处理手段联合使用的可能性, 以期找到最优化的解决方案。

## 1 超声空化技术在含油污水处理中的应用原理

超声空化技术在含油污水处理中的应用原理基于超声波在液体介质中传播时产生的空化效应。当超声波作用于含油污水时, 会在液体内部形成微小的气泡, 并在气泡崩溃瞬间产生局部高温高压环境。这种极端条件能够引发一系列物理化学变化, 如强烈的机械剪切力、自由基生成和快速混合等, 从而加速油水分离过程并促进有机污染物的降解。通过控制超声频率、功率密度以及处理时间等参数, 可以有效提高油类物质的去除率, 同时减少化学药剂的使用量, 降低二次污染的风险。超声空化还具有良好的适应性, 适用于不同类型的含油污水, 包括但不限于石油开采、炼油厂及化工企业排放的废水。

超声空化过程中形成的空化泡崩溃不仅为含油污水提供了强大的能量输入, 还创造了有利于化学反应发生的特殊环境。在高温高压条件下, 油分子可能发生裂解或聚合反应, 转变成更易被生物降解的小分子

物质; 而产生的羟基自由基 ( $\text{OH}\cdot$ ) 等强氧化性物种, 则可以直接攻击油污中的大分子链, 使其断裂为较小片段, 进一步提升去除效率。这些极端条件还能促进乳化油的破乳和凝聚, 加速油水分离过程。超声波引起的强烈湍流有助于均匀分散污水中的颗粒物, 增加接触面积, 使得后续处理步骤更加高效。这种湍流还可以防止颗粒沉淀, 维持悬浮状态, 确保处理的一致性和稳定性。这些特性共同作用下, 超声空化技术不仅提高了污染物的降解速率, 还优化了整个污水处理流程, 成为了一种极具潜力且高效的含油污水处理手段。

实际应用中, 超声空化技术展示了其独特的优势与挑战。虽然它能够在不依赖大量化学试剂的情况下实现高效的油水分离和污染物降解, 但要达到最佳效果, 必须精确调控操作参数。频率选择对空化强度有直接影响, 较低频率通常能产生更大的空化泡, 带来更强的机械破坏力; 相反, 较高频率则更适合生成细密分布的小气泡, 利于微观层面的化学反应。功率密度同样关键, 过高的能量输入可能导致非特异性损伤, 而不足则无法充分激发空化效应。针对具体的含油污水特性, 合理设计超声系统, 优化运行参数, 是确保该技术成功应用于工业实践的重要前提。

## 2 含油污水处理面临的挑战与超声空化技术的介入

含油污水处理领域面临着多重挑战, 传统处理方法往往难以满足日益严格的环保标准。化学絮凝法虽然能够有效去除悬浮油滴, 但对于溶解性油类和乳化油的效果有限; 生物处理技术则可能因为微生物对特定污染物的适应性问题而导致处理效率不稳定。物理分离如重力沉降、离心分离等手段, 虽能初步分离油

水混合物，但后续深度净化仍然需要结合其他工艺。这些处理方式不仅成本高昂，而且在实际操作中可能会产生二次污染，进一步增加了治理难度。超声空化技术的介入为解决这些问题提供了新的思路。

超声空化技术通过引入高强度超声波，在含油污水中形成大量微小气泡并在其崩溃瞬间产生局部高温高压环境，这一过程不仅增强了油水间的界面张力，促进了油滴聚并，还生成了强氧化性的自由基，有助于分解难降解有机物。这种非选择性的物理化学作用机制使得超声空化对于多种类型的含油污水均表现出良好的适应性和高效性。更重要的是，由于不需要添加过多化学药剂，减少了污泥产量及后续处理负担，降低了运营成本。超声波的穿透能力使其适用于复杂成分的工业废水处理，即使是在高浓度或含有固体颗粒的情况下也能保持较高的处理效率。

要使超声空化技术在含油污水处理中发挥最大效能，还需克服若干技术障碍。优化超声频率与功率密度以匹配不同性质的含油污水，确保既能激发足够的空化效应又不会造成能量浪费或设备损坏。针对某些特殊行业产生的复杂含油废水，可能需要将超声空化与其他预处理或后处理工艺相结合，构建集成化的处理系统。对于高浓度或含有固体颗粒的废水，超声波的穿透能力和均匀性也需特别考虑。深入研究超声参数的选择、探索与现有污水处理工艺的最佳组合模式，以及开发适应性强的综合处理方案，成为推动该技术广泛应用的关键所在。通过不断的技术创新和完善，超声空化有望在未来成为含油污水处理领域的重要力量，为实现高效、环保的水处理目标提供强有力的技术支持。

### 3 优化超声参数提升含油污水治理效果

优化超声参数是提升含油污水治理效果的关键步骤。在实际应用中，超声频率和功率密度的选择对空化效应的产生及处理效率有着直接影响。较低频率（如20-40kHz）通常能够形成较大的空化泡，这些气泡破裂时产生的机械剪切力更强，有助于大颗粒油滴的聚并和分离。对于含有微小油滴或乳化油的废水，较高频率（如100kHz以上）可以生成更多细密分布的小气泡，提供更大的接触面积，从而更有效地促进油水分离。功率密度也是决定超声处理效果的重要因素。过高的功率可能导致能量浪费甚至设备损坏，而功率不足则无法充分激发空化效应。针对不同的含油污水特性，合理选择和调整超声频率与功率密度，是实现

高效处理的基础。

除了频率和功率密度外，处理时间和温度也显著影响超声空化的治理效果。适当的处理时间能确保空化泡有足够的时间形成、生长并崩溃，以最大限度地发挥其物理化学作用。如果处理时间过短，空化过程可能未完全展开；反之，过长的时间不仅增加了能耗，还可能引起不必要的副反应。温度同样是一个不可忽视的因素，它可以直接影响液体的粘度和表面张力，进而改变空化泡的行为模式。高温条件下，液体粘度降低，有利于空化泡的形成和破裂，但过高温度可能会抑制空化效应，并加速有机物的挥发。在设计超声处理系统时，应综合考虑处理时间与温度的影响，通过实验确定最佳操作条件，以达到最优的处理效果。

为了进一步提高含油污水处理的效果，还可以结合其他技术手段进行协同优化。引入搅拌装置可以增强液体的湍流程度，使得超声波的能量分布更加均匀，避免局部能量过度集中。利用催化剂或添加适量的化学药剂，可以在超声空化过程中促进特定化学反应的发生，加速污染物的降解。超声与其他处理工艺如膜过滤、生物处理等相结合，可以构建更为完善的污水处理体系。通过对超声参数的精确调控以及多种技术的联合使用，不仅可以解决单一方法存在的局限性，还能有效应对复杂多变的含油污水成分，为工业废水处理提供了一条绿色、经济的新路径。

### 4 超声空化结合其他技术实现综合处理方案

超声空化技术在含油污水处理中的应用展现了显著的优势，但为了应对更为复杂和多变的污水成分，与其他处理技术相结合是实现综合解决方案的有效途径。将超声空化与膜分离技术结合，可以充分利用两者的优势。超声波能够破坏乳化油结构，促进油滴聚并，从而提高油水分离效率；而膜过滤则可以在后续阶段拦截剩余的小颗粒污染物，确保出水质量。这种组合不仅提高了整体处理效果，还减少了化学药剂的使用，降低了二次污染的风险。超声空化与膜技术的协同作用还能延长膜的使用寿命，减少维护成本，提升系统的经济性和可持续性。

在实际操作中，超声空化还可以与生物处理工艺联合使用，构建一个高效的污水处理流程。超声波产生的自由基和局部高温高压环境有助于分解难降解有机物，将其转化为更易被微生物利用的小分子物质。这不仅为生物处理提供了更好的前处理条件，也减轻了生物反应器的负荷。经过超声预处理后的污水含有

较少的大分子污染物,使得微生物能够更有效地进行代谢活动,提高了生物处理的稳定性和效率。通过优化超声参数,并根据污水特性调整生物处理条件,如pH值、溶解氧浓度等,可以进一步增强处理效果,达到理想的净化目标。这一集成方案不仅适用于石油开采和炼油行业的含油废水处理,也为其他工业领域提供了一个参考模式。

为了进一步优化综合处理方案,还可以考虑引入物理化学方法,如絮凝沉淀或电化学氧化。超声空化能够改善絮凝剂的分散性和吸附性能,增强其对微小油滴和悬浮颗粒的捕捉能力,从而提高沉淀效果。而在电化学氧化过程中,超声波的应用可以加速电子传递过程,促进污染物的氧化分解。超声空化与这些技术的结合还能够解决单一方法存在的局限性,例如克服膜污染问题、提高生物处理抗冲击能力等。通过精心设计和优化不同技术之间的配合,不仅可以有效应对复杂含油污水的处理挑战,还能实现资源的最大化利用和环境保护的目标。这种多技术融合的综合处理方案,为含油污水处理提供了一条创新且可行的新路径。

## 5 经济效益分析从处理成本到环境收益

超声空化技术在含油污水处理中的应用不仅带来了显著的环境效益,还具有可观的经济效益。从处理成本的角度来看,超声空化减少了对化学药剂的依赖,降低了药剂采购和运输的成本。由于其高效的油水分离能力,能够减少后续处理步骤的需求,如减少了污泥产量,进而降低了污泥处理和处置费用。超声设备的自动化程度较高,操作简单,维护方便,这有助于降低人力成本和技术培训支出。综合而言,超声空化技术通过简化工艺流程、提高处理效率,直接降低了污水处理的整体运营成本。

在环境收益方面,超声空化技术的应用为环境保护做出了重要贡献。它能有效去除污水中的油类污染物,减少排放到自然水体中的有害物质,从而保护水生生态系统和人类健康。特别是对于那些传统方法难以处理的乳化油和溶解性有机物,超声空化提供了更为彻底的解决方案,避免了二次污染的发生。该技术还可以与生物处理等绿色工艺相结合,进一步提升水质净化效果。超声空化过程中的局部高温高压和自由基生成,可以促进难降解有机物的分解,为后续生物处理提供更有利的条件,从而实现更高效的污染物去除,确保出水达到严格的环保标准,促进了可持续发展

发展的目标。

从长远角度来看,采用超声空化技术进行含油污水处理还能带来一系列间接的经济和社会效益。随着全球对环境保护要求的不断提高,企业通过引入先进的处理技术,不仅可以满足法规要求,还能树立良好的社会形象,增强市场竞争力。优化后的污水处理系统能够延长设备使用寿命,减少故障停机时间,提高生产效率。超声空化与其他技术的集成应用,如膜过滤或电化学氧化,不仅提高了资源利用率,还可能为企业创造新的经济增长点,例如回收利用处理过程中产生的有价值的副产品。总之,超声空化技术在含油污水处理中的应用,不仅是环保投资的重要组成部分,更是实现经济效益和社会责任双赢的有效途径。

## 6 结语

通过对超声空化技术在含油污水处理中的深入探讨,本文详细分析了该技术的应用原理、面临的挑战、参数优化及与其他技术的结合,并对其经济效益进行了评估。超声空化不仅能够高效去除污水中的油类污染物,还能减少化学药剂的使用,降低处理成本和二次污染风险。结合其他处理方法,如膜分离和生物处理,可以构建更为完善的综合处理方案,进一步提升处理效果。从长远来看,超声空化技术的应用不仅带来了显著的环境收益,还为企业创造了经济和社会价值,为实现可持续发展提供了有力支持。

### 参考文献:

- [1] 王晓峰,杨柳. 超声空化技术在含油废水处理中的应用进展 [J]. 环境科学与技术, 2023,46(5):123-130
- [2] 林建华,周文博. 含油废水处理中超声波频率和功率密度的影响研究 [J]. 化工学报, 2022,73(10):4567-4574
- [3] 郭丽萍,陈伟. 超声空化与膜过滤技术联用处理含油废水的效果分析 [J]. 水处理技术, 2021,47(8):987-992
- [4] 孙浩森,黄健. 超声空化促进生物处理含油废水的研究进展 [J]. 生物工程学报, 2020,36(12):2145-2153
- [5] 徐明杰,宋艳. 含油废水处理中多种技术集成应用的经济效益评估 [J]. 环境工程学报, 2023,17(3):345-352

### 作者简介:

兰宁(1977-),男,汉族,籍贯:辽宁庄河,学历:本科,职称:高级工程师,研究方向:含油污水污泥处理。