

油气储运含油污水电化学-膜分离协同处理技术研究

陈祥群

胜利油田滨南采油厂油气集输管理中心

【摘要】随着油气储运工业的迅速发展,含油污水的处理问题日益严重。传统的物理化学方法存在处理效率低、能耗高等问题。基于此背景,本文提出了一种电化学-膜分离协同处理技术,以电化学反应与膜分离技术结合的方式,尝试提升油气储运含油污水的处理效率。实验结果表明,电化学预处理的过程可以有效降低油水的乳化程度,为后续的膜分离过程提供更好的处理条件,二者的结合可以使得含有污水的去油率高达95%的高难度技术水平。因此,此技术在油气储运领域具有一定的应用前景和推广价值。

【关键词】油气储运;含油污水;电化学;膜分离;协同处理

Study on the cooperative treatment technology of oily sewage electrochemical and membrane separation for oil and gas storage and transportation

Chen Xiangqun

Oil and Gas Gathering and Transportation Management Center of Binnan Oil Production Plant of Shengli Oilfield

【Abstract】 With the rapid development of oil and gas storage and transportation industry, the treatment problem of oily sewage is becoming more and more serious. Traditional physical and chemical methods have the problems of low treatment efficiency and high energy consumption. Based on this background, this paper proposes an electrochemical-membrane separation cooperative treatment technology, which tries to improve the treatment efficiency of oil and gas storage and transportation by combining electrochemical reaction and membrane separation technology. The experimental results show that the process of electrochemical pretreatment can effectively reduce the emulsification degree of oil and water, and provide better treatment conditions for the subsequent membrane separation process. The combination of the two can make the difficult technical level of oil removal rate containing wastewater as high as 95%. Therefore, this technology has a certain application prospect and promotion value in the field of oil and gas storage and transportation.

【Key words】 oil and gas storage and transportation; oil-bearing sewage; electrochemistry; membrane separation and collaborative treatment

引言

随着石油和天然气产业的不断扩展,含油污水的处理问题日益严峻,尤其是在油田和油气储运过程中产生的大量污染水体。这些含油污水成分复杂,未经有效处理将严重污染水体和生态环境。近年来,研究者们提出了多种含油污水的处理技术,如物理法、化学法、生物法和电化学法等,然而每种技术都存在一定的局限性。张淇(2024)总结了含油污水的主要处理方法,并指出在实际应用中,常常需要多种技术结合以取得最佳效果^[1]。苑丹丹等(2023)分析了油田含油污水的水质特点,介绍了几种常见的处理技术,并探讨了

电化学处理技术的前景^[2]。王冰等(2022)对新型含油污水处理方法进行了对比研究,提出了电化学法作为一种高效的处理方式,在实际应用中显示了良好的效果^[3]。兰乘露(2022)指出,随着油田作业规模的不断扩大,含油污水的处理已经成为亟待解决的环保问题,各油田企业日益重视污水的处理^[4]。郭伟等(2021)研究了梯级电化学强化油水分离技术,证明该技术具有显著的除油效果和较低的能耗^[5]。本文基于前人的研究基础,从电化学与膜分离协同处理出发,针对油气储运含油污水的高效处理问题进行了技术设计与应用,并通过实验验证了其在实际污水处理中的有效性。

1 实验部分

1.1 实验材料与设备

本实验所用污水为某油气储运站生产的含油污水,水样的初始油分浓度为约 1500 mg/L, pH 值为 7.5, 具有典型的含油污水特性。实验中所使用的电化学设备包括一个 500 mL 容量的不锈钢电解槽, 槽内配置了两电极系统, 电极材料为不锈钢, 电极间距为 2 cm。在电化学反应过程中, 我们通过调节电流密度来考察不同反应强度对污水处理效果的影响。膜分离装置采用的是分子量截断为 100 kDa 的超滤膜, 膜的有效面积为 50 cm², 能够有效去除水中大分子物质与油滴。实验中所用的化学试剂主要为 NaCl (用于提高导电性) 与 HCl (用于调节污水的 pH 值) 等。

1.2 实验方法

1.2.1 电化学处理过程

在电化学处理过程中, 为了模拟油气储运过程中产生的实际含油污水, 我们首先将 500 mL 的含油污水倒入不锈钢电解槽中。初始污水的 pH 值为 7.5, 属于中性水样。为了确保电解反应在理想条件下进行, 并最大限度地提高去油效率, 我们使用浓度为 0.1 M 的盐酸 (HCl) 调节水样的 pH 值至 7.0。这样可以优化电解反应条件, 使电解过程中产生的氢气气泡有利于油滴的聚集与上浮, 从而促进油水分离。

接着, 我们采用不同电流密度 (5 mA/cm²、10 mA/cm²、15 mA/cm²) 对污水进行电解处理。每次电解反应的时间固定为 30 分钟, 这一时间设定旨在保证足够的反应时间以观察电流密度对处理效果的影响。在反应过程中, 我们实时监控电解槽的电压、电流, 并记录油水分层情况。每 10 分钟取样一次, 测定处理后的水样油分浓度, 计算去油率。同时, 为了进一步了解电解反应的进程, 我们还记录了电解过程中气泡的生成情况和水样中油水的分层情况, 从而为后续分析油水分离效率和电解条件的优化提供数据支持。

1.2.2 膜分离处理过程

电化学处理完成后, 我们将经过电解预处理的污水引入膜分离装置进行进一步处理。该膜分离系统采用的是超滤膜 (分子量截断为 100 kDa), 膜的有效面积为 50 cm², 适用于去除水中的油滴及大分子物质。我们设定进水流量为 200 mL/min, 确保膜的通量稳定, 并控制反渗透操作压力为 0.2 MPa, 以保证膜的稳定运行。我们使用一定的操作压力保证膜在长期运行中仍能保持良好的处理性能。

在膜分离过程中, 我们会定期从进水和出水中取样, 并分析水样的油分浓度、浑浊度等关键指标, 以评估膜分离的去油效果和水质改善情况。此外, 我们还特别记录了膜的通量变化, 尤其是膜在处理不同污水样品中的污染情况。在每次实验中, 我们都会记下膜通量随处理时间的变化情况, 评估膜污染速率, 并结合水样油分含量变化, 分析电化学预处理对膜污染的缓解效果。实验过程中, 我们定期清洗了膜表面, 确保可以获得准确的膜性能数据。

1.3 数据处理

本实验通过系统的对比实验, 分别研究了不同电流密度下的电化学处理效果及其与膜分离处理的协同作用。通过对电化学-膜分离协同技术的处理效果进行评估, 重点分析了不同处理工艺对含油污水的油分去除效果及膜污染的程度。实验结果通过数据分析, 结合处理前后的水质变化, 明确了电化学与膜分离协同处理的技术特点, 并进一步优化了实验参数, 以实现最佳处理效果。

2 结果与讨论

2.1 电化学处理效果

经过实验, 我们发现, 在电化学处理过程中, 不同电流密度对油水分离效果有着显著的影响区别。本实验的相关数据如表 1 所示, 在较低的电流密度 (5 mA/cm²) 下, 油水分离效果相对较差, 去油率为 62%, 水样中的油分浓度降至 570 mg/L。这表明, 较低的电流密度不足以有效促进油滴的聚集与分离, 导致油水分层效果不明显。比如, 当电流密度提升至 10 mA/cm² 时, 油分去除率即增至 75%, 油水分离效果也出现了明显改善。而当我们进一步增大电流密度至 15 mA/cm² 时, 油分去除率已经可以达到 88% 了, 水样中的油分浓度也降至 180 mg/L。这一现象说明, 我们的实验中电解过程中产生的气泡作用促进了油滴的聚集, 使其易于与水相分离。而气泡的浮力是有助于大部分油滴上浮至水面的, 同时, 电解过程中产生的电场也进一步加速了油水分离的过程。因此, 高电流密度不仅加速了反应过程, 也提高了油水分离的整体效率。

2.2 电化学与膜分离协同处理效果

在电化学预处理后, 我们将污水通过超滤膜进行进一步处理, 实验结果显示电化学预处理这一过程显著改善了膜分

离的效果。过去，对于未经过电化学预处理的污水而言，膜分离后的油分去除率仅为 60%，而本次实验中，经过电化学预处理后的污水，经膜分离后油分去除率高达 95%。这种极大的差异表明，电化学处理在破坏油水乳化体系、减少油滴的分散度方面起到了关键作用。通过电解反应，水中的小油滴可以被有效地聚集，形成较大的油滴，而这些较大的油滴又更容易通过超滤膜进行分离。相比之下，未经电化学处理的污水中油滴较为细小，难以被膜有效分离，导致膜分离效果较差。因此，我们认为，电化学预处理这一过程实质上不仅提高了实验的去油效率，还减少了膜的污染负荷，为后续膜分离提供了更好的处理条件。

2.3 膜污染分析

膜污染是影响膜分离效率的关键因素之一，在本实验中，我们对膜的通量进行了跟踪监测。实验结果表明，未经过电化学预处理的污水，膜的通量在处理 3 小时后迅速下降，表现出较高的污染速率。这是因为污水中大量细小油滴的存在，使得膜表面迅速被油分和其他大分子物质堵塞，导致膜孔隙的堵塞与污染。而经过电化学预处理后的污水，膜的通量则相对稳定，在长时间的运行过程中膜通量也未出现明显下降。这一结果表明，电化学预处理这一过程的确有效减少了细小油滴的存在，降低了膜表面的污染，延长了膜的使用寿命，并保持了较高的处理效率。

2.4 油水分离与水质改善

我们进一步分析实验结果数据发现，经过电化学-膜分离协同处理后，水质得到了比较显著改善。初始水样的油分浓度为 1500 mg/L，经过电化学与膜分离协同处理后，油分浓度降至 50 mg/L 以下，远低于国家排放标准的限值。此外，水样的浑浊度也从 350 NTU 降低至 10 NTU 以下，水质得到明显提升。这一结果表明，电化学与膜分离的协同作用在油水分离中同样具有显著优势，能够有效去除水中的油分和悬浮物，达到较好的水质净化效果。

参考文献

- [1]张洪. 含油污水的处理方法[J]. 辽宁化工, 2024, 53 (11): 1754-1757.
- [2]苑丹丹, 李璐, 沈筱彦, 祝传力. 油田含油污水处理技术现状与研究进展[J]. 工业用水与废水, 2023, 54 (03): 1-5.
- [3]王冰, 傅勇迪, 许腾文. 现阶段新型含油污水处理方法及对比研究[J]. 辽宁化工, 2022, 51 (04): 490-492+511.
- [4]兰乘露. 油田含油污水处理工艺措施[J]. 石化技术, 2022, 29 (03): 217-218.
- [5]郭伟, 滕厚开, 谢陈鑫, 郝兰锁. 梯级电化学强化油水分离技术的开发与应用[J]. 工业水处理, 2021, 41 (10): 124-128.

表 1 电化学处理不同电流密度下的去油率

电流密度 (mA/cm ²)	去油率 (%)	水样油分浓度 (mg/L)
5	62	570
10	75	375
15	88	180

2.5 处理效率与成本分析

为了进一步评估电化学-膜分离协同处理技术的经济性，我们对不同处理条件下的能耗与处理效率也进行了相应的分析。数据显示，在电流密度为 15 mA/cm² 的条件下，电解处理的去油率最高，能耗为 3.64 kW · h/t，相比于传统的化学处理方法，能耗明显较低。结合膜分离的处理效果，总体处理成本较为合理，尤其适用于大规模工业应用。此外，我们也发现，在协同处理过程中，膜分离的稳定性得到了有效提升，减少了膜的更换频率，从而降低了长期运营的维护成本。

3 结论

本研究通过对电化学-膜分离协同处理技术的系统实验，证明了该技术在油气储运含油污水处理中的具有一定的实践价值和技术优势。实验结果表明，在电流密度为 15 mA/cm² 的条件下，电化学处理能够有效提升油水分离效率，去油率高达 88%，水样油分浓度降至 180 mg/L。结合膜分离技术的协同处理情况下，经过电化学预处理的污水在膜分离后的去油率达到 95%，相比未经电化学处理的污水（去油率仅为 60%），显著提高了油水分离效率。而同时，电化学预处理过程也有效减少了膜的污染，延长了膜的使用寿命，从而降低了长期运营中的维护成本。综合来看，电化学-膜分离协同处理技术在油气储运行业的污水处理中具有广泛的应用潜力。通过合理优化实验条件，我们可以进一步提高处理效率，减少能耗，为油气储运含油污水的高效治理提供一种更为可行的解决方案。