

浅谈油水分离中气浮旋流器的应用与发展

杨雨凡

重庆科技大学石油与天然气工程学院，重庆

收稿日期：2024年11月4日；录用日期：2025年1月10日；发布日期：2025年1月28日

摘要

随着稠油开采规模的扩大，生产水处理成为关键。气浮旋流技术结合气浮与旋流的优势，在稠油油田生产水处理中具有重要应用。本文介绍了气浮旋流技术的应用背景、原理及优势，包括气浮作用通过产生气泡与油滴黏附实现上浮分离、旋流原理利用离心力促进油水分离，二者的结合使得该技术具有高效处理和紧凑设计等优势。最后总结了该技术在稠油油田生产水处理中的重要作用，并对未来的研究方向进行了展望，包括进一步优化技术、探索更高效的气泡产生方式与设备改进等，为实现稠油油田的可持续发展和节能减排目标发挥重要作用。

关键词

稠油生产水处理，油水分离，气浮旋流

A Brief Discussion on the Application and Development of Flotation Cyclones in Oil-Water Separation

Yufan Yang

School of Petroleum Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: Nov. 4th, 2024; accepted: Jan. 10th, 2025; published: Jan. 28th, 2025

Abstract

With the expansion of heavy oil production, production water treatment has become the key. Flotation cyclone technology combines the advantages of flotation and cyclone and has important applications in the treatment of produced water in heavy oil fields. This paper introduces the application background, principle and advantages of flotation cyclone technology, including the flotation effect to achieve floating separation by generating bubbles and oil droplets adhering, and the cyclone principle

uses centrifugal force to promote oil-water separation. The combination of the two makes this technology have the advantages of efficient treatment and compact design. Finally, the important role of this technology in the treatment of produced water in heavy oil fields is summarized, and the future research direction is prospected, including further optimizing the technology, exploring more efficient bubble generation methods and equipment improvements, etc., which will play an important role in achieving the sustainable development of heavy oil fields and energy conservation and emission reduction goals.

Keywords

Heavy Oil Produced Water Treatment, Oil-Water Separation, Flotation Cyclone

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着稠油开采规模的不断扩大，生产水处理成为确保油田可持续开发的关键环节。稠油油田的采出液通常含有大量的油、悬浮物和其他杂质，若不进行有效的处理，不仅会对环境造成严重污染，还会影响油田的生产效率和经济效益。因此，油田生产水处理要求随之提高。

而气浮旋流技术在稠油油田生产水处理中具有重要的应用场景及价值。对于稠油油田生产水中含量逐渐增加的油和悬浮物等杂质，传统处理工艺中的水力旋流器的处理能力已经难以达到要求。气浮旋流技术则结合了气浮与旋流的优势，能够有效地提升对油和悬浮物的去除效率。将气浮选与旋流分离结合于一台设备，通过气泡油滴结合扩大密度差，以旋流场加长气泡油滴接触时间，增加结合概率，提高油水分离效率。

2. 应用背景

随着我国油田开采年限的增加，许多油田储量中的轻质与中质原油逐渐下降，重质原油在开采比例中渐渐升高，所以稠油的开发处理越来越被重视。现今世界所发现的稠油储量在原油总量中的占比已然超过三分之二[1]。国内稠油资源在中国石油总资源中的占比已超 20%，其年产量稳定在 $(1500\sim1600)\times10^4$ 吨，约占我国石油总年产量的 8% [2]，据统计，在中国海洋石油总公司所属生产的油气田，已探明各类稠油石油地质储量超过 34×10^8 ，其中 69%以上是稠油油田[3]。可见稠油生产是保障石油稳定生产的重要组成部分。随着稠油开采规模的不断扩大，生产水处理成为确保油田可持续开发的关键环节。而在稠油生产过程中，如何实现油田生产水高效与环保的处理，成为了各大油田开采单位在含油污水处理流程中面临的主要问题。稠油油田的采出液通常含有大量的油、悬浮物和其他杂质，若不进行有效的处理，不仅会严重污染环境，还会降低油田的生产效率和经济效益。在稠油油田的高效开发过程中，生产污水回注将是节能减排的主要形式。

在实际现场生产过程中，借助水力旋流器等设备来打破稠油污水中的水包油型乳状液的乳化状态，促使分散的油滴逐步聚并，形成更大的油滴粒子，进而利用油滴与水之间的密度差实现油水分离。然而，由于稠油自身密度较大，导致油水密度差较小，使得稠油污水处理流程中的水力旋流器分离效率低下，难以满足生产要求。气浮旋流技术作为一种高效的生产水处理技术，逐渐被引入稠油油田。该技术融合了气浮和旋流的优势，能够有效去除采出液中的油和悬浮物。因此，设计出一种将旋转离心分离与气浮分离相结合的污水处理工艺。

3. 技术原理

由于油田生产水中油水密度差较小，为增大密度差，将气体注入旋流器内部。气体经由注气孔进入旋流场时，在旋流场的剪切作用下形成气泡。在流场中，气泡与油滴结合成为复合粒子。通过形成复合粒子，可增大其与水之间的密度差，在旋流场的作用下，复合粒子能够迅速聚集于溢流口。同时，注入的微气泡能够与粒径更为细小的油滴结合，增大复合粒子的粒径，使其从溢流口带出，从而提高旋流器的分离效果，在最大程度节约投资的基础上，大幅提升油水分离效率。

该技术的最大特点就是把水力旋流器内的流体流动特征与气浮选结合于一体，充分发挥旋流与气浮的协同作用[4]。在旋流器中充入气体，在离心分离的基础上叠加气浮作用，通过扩大传统旋流器不能排出的油滴的密度差与粒径来增强分离效率。当气体通过注气腔注入旋流器后，通过旋流场剪切形成的微气泡与传统旋流器不能有效分离的油滴结合，形成气泡-油滴复合粒子。与单纯的油滴粒子相比，复合粒子直径更大、密度更低、更容易被旋流器分离。

4. 应用前景

随着环保法规的日益严格，稠油油田必须采取有效的生产水处理措施，以减少对环境的污染。气浮旋流器作为一种高效的水处理设备，能够满足环保要求，为油田的可持续发展提供保障。处理后的水质得到改善，可以回用于油田的注水等环节，降低了对新鲜水资源的依赖，节约了生产成本。同时，减少了设备的腐蚀和结垢，延长了设备的使用寿命，提高了生产效率。这不仅保证了油田的可持续开发，还对产能产生了积极影响。随着油田生产过程中产液含水率日益上升，生产污水量不断增加，含水率的增加对于油田的提液增产形成了较大的限制，同时由于油田输送能力及下游的接收和处理能力有限。将油田生产水就地处理既可以针对油田产能提升作出贡献，又可以降低生产现场对水源的依赖，实现油田生产水的利用，达到节能减排、保护生态环境等多重目的。

同时因为气浮旋流技术的紧凑设计，使其非常适应海上平台的空间限制。传统的生产水处理设备体积庞大、占地面积广，而海上平台空间有限。气浮旋流装置结构类似于离心机，设备紧凑、占地面积小。采用气浮旋流技术后，设备占地面积仅为传统处理设备的三分之一。这使得该技术在海上小平台上极具应用潜力。同时，气浮旋流装置还具有重量轻、操作简单等优点。其重量相对较轻，便于安装和运输，降低了海上平台的承重压力。操作简单则减少了对专业技术人员的依赖，降低了运营成本。同时，气浮旋流技术运行稳定，能够承受较大的水质波动，确保了生产水处理的连续性和可靠性。

5. 发展趋势

随着稠油油田开发的不断深入，气浮旋流技术也需要不断地进行优化和改进。针对气浮旋流器的机械设计，未来可以从以下几个方面进行研究：

- 1) 提高处理效率。通过优化气浮旋流装置的结构设计、改进操作参数等方式，提高油和悬浮物的去除率，降低处理后的水质指标。
- 2) 增强设备的适应性。不同稠油油田的采出液性质可能存在差异，未来的研究可以针对不同的油田特点，开发出更加适应特定油田的气浮旋流技术。对于高含砂量的稠油油田，可以研究如何在气浮旋流过程中更好地去除砂粒，防止设备堵塞和磨损。
- 3) 实现智能化控制。利用先进的传感器技术和自动化控制技术，对气浮旋流过程进行实时监测和控制，确保设备的稳定运行和处理效果的一致性。可以通过监测水质参数和设备运行状态，自动调整气浮压力和旋流速度等参数，提高处理效率和降低运行成本。

针对气浮旋流器的气泡设计，未来可以从以下几个方面进行研究：

- 1) 利用微纳米气泡技术产生更小直径的气泡，提高气泡与油滴的接触面积和粘附效率。微纳米气泡直径在几十纳米到几微米之间，具有比传统气泡更高的稳定性和传质效率。
- 2) 研究新型的气泡发生器，提高气泡产生的均匀性和稳定性。例如，采用超声波气泡发生器、电脉冲气泡发生器等新型设备，能够产生更加细腻均匀的气泡，提高气浮效果。通过不断探索更高效的气泡产生方式和设备改进，气浮旋流技术在稠油油田生产水处理中的应用前景将更加广阔。

基金项目

重庆科技大学“研究生创新计划项目”，项目批准号：YKJCX2320108。

参考文献

- [1] 关文龙, 蒋有伟, 郭二鹏, 等. “双碳”目标背景下的稠油开发对策[J]. 石油学报, 2023, 44(5): 826-840.
- [2] 孙焕泉, 刘慧卿, 王海涛, 等. 中国稠油热采开发技术与发展方向[J]. 石油学报, 2022, 43(11): 1664-1674.
- [3] 邓运华, 徐建永, 孙立春, 等. 国家科技重大专项支撑中国海油增储上产[J]. 石油科技论坛, 2021, 40(3): 56-71.
- [4] 郑贵勤. 气携式水力旋流器实验及应用基础研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 大庆石油学院, 2008.