

# 新型聚结除油器在南海油气田生产水 系统中的应用

秦逸涵, 胡 斌, 宫景雯, 矫亚涛

(中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028)

**摘要:**为解决南海油气田生产水乳化严重所带来的常规物理分离设备难以达到良好除油效果的问题,以某气田为例,运用生产流程改进测试和数据分析的方法,研究新型聚结除油器在不同工艺流程中的替代作用和除油效果,并结合较大规模生产水系统工程对聚结除油器在工程实施过程中的综合评价进行比较。结果表明,新型聚结除油器对于乳化油具有 95% 以上的除油效率,并在投产后逐步显现其运维优势和经济优势。

**关键词:**生产水处理;新型聚结除油器;水力旋流器;气浮;处理效果

**中图分类号:**TE45 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)06-0350-05

中国南海具有丰富的油气资源,约占中国资源总量的 1/3<sup>[1]</sup>。在已勘探开采的油气田中,油品密度以轻中质油为主,通常生产水采用两级处理流程即可达到排海要求。在早期的轻质油气田中,生产水处理流程多采用简单的物理分离和物理沉降的方法去除,以水力旋流器+脱气除油罐为典型的工艺取得了较好的处理效果<sup>[2]</sup>。当采出物中油、气、水三相混合物在温度、压力、输送等因素发生变化时,在相变的过程中会产生乳化现象<sup>[3]</sup>,同时随着前端工艺段投加的化学药剂配合动设备作用,使水中乳化油现象加剧<sup>[4]</sup>,而传统的物理分离和沉降已不能满足含乳化油生产水的有效处理。综合考虑设备尺寸、重量对平台整体方案和施工资源的影响,气浮工艺中紧凑旋流气浮装置(CFU)相比溶气式气浮(DGF)和诱导式气浮(IGF)工艺具有紧凑高效的结构优势,同等条件下水处理效果较好<sup>[5-6]</sup>,是解决南海中质或乳化油的主流工艺。但随着运行经验的积累逐渐发现:①配气喷嘴处易堵塞;②加气量和浮选剂要适应不断变化的来液而人工调节用量;③设备配有动设备和药剂投入,每年产生动耗和药剂费用可观;④人工运维工作量较多;⑤重质油品的处理效果不理想<sup>[7]</sup>。

基于南海油气田生产水水处理的背景,寻求更好的水处理工艺成为诉求。本文主要研究新型聚

结除油器处理高含乳化油的生产水的效果,以及在工程实施方面的综合评价,以期该类技术在海水油气田的应用提供参考。

## 1 新型聚结除油器原理和结构

聚结除油主要通过聚结内件材料亲油疏水特性并以一定方式编织,在材料表面聚结长大,经过滤和分离,从而去除水中油滴。传统聚结介质主要采用普通型聚四氟乙烯、聚丙烯等材料<sup>[8]</sup>,但对于高速旋流的乳化油较难分离,并且抗冲击能力较差。

新型聚结除油器在普通型有机高分子材料或无机材料的基础上对其进行改性处理,增强乳液液滴分离性能的同时允许细小颗粒通过,从而兼具抗堵性能<sup>[9]</sup>。新型聚结除油器由亲水疏油和亲油疏水的异质纤维组合材料,异质纤维交叉点通过极性受力差异而发生破乳分离。设备内部由入口整流、多介质聚结过滤和聚结分离 3 个阶段实现除油。整流段在闪蒸脱气与离心脱气共同作用下将溶解气脱出,同时稳定流体进入后续阶段的状态。多介质聚结过滤阶段油滴和悬浮物通过拦截并聚结成大颗粒,分离出的废水再进一步进入聚结分离段分离细小油滴,从而完成脱气除油过程。该设备不设置动设备的辅助。基本构造及原理如图 1 所示。

**收稿日期:**2022-02-21

**作者简介:**秦逸涵(1986—),女,北京人,中海油研究总院有限责任公司,工程师,硕士,研究方向为海洋工程给排水及消防系统。

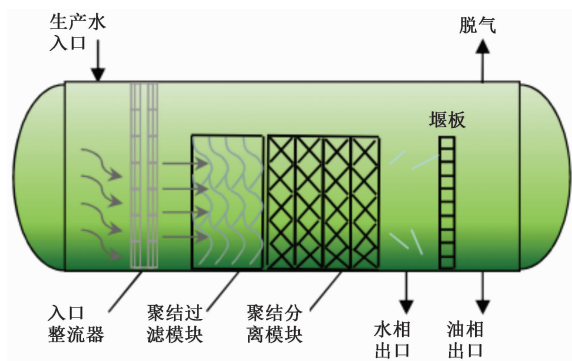


图1 新型聚结除油器构造原理

2 工程概况及存在问题

南海某气田,油品密度 0.83 mg/L,油品属轻质油、含硫低、凝点低、水相无难处理杂质。高峰日产水量约 2 000 m<sup>3</sup>/d,井口产出的油气水 3 项混合液先经气液分离流程,之后进入生产分离器进行油水分离,分离器水相出口进入生产水处理系统进一步油水分离,以满足排海要求。生产水系统采用水力旋流器+脱气除油罐的水处理流程,处理能力 83.6 m<sup>3</sup>/h。生产水系统入口含油不超过 1 200 mg/L,出口排海指标低于 30 mg/L。根据《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》GB 4914—2008 要求,出口排海含油指标月平均排放浓度不超过 45 mg/L。

对于油气田开发全生命周期,本工程生产阶段初期和中期处理可达到预期。在生产阶段后期,由于产液量和产液压力均大幅降低,前端油水分离器操作压力大幅降低,实际测试中分离器操作压力从 1 723 kPaG 降低至 1 275 kPaG,其水相出水含油量也从约 1 300 mg/L 上升至接近 2 400 mg/L 的水平。另一方面,当分离器压力过低时,自流进入生产水处理系统流速过低,水相液位下降过慢,与油相界位混合,液位波动,将影响出水水质。基于以上两点,平台既有的水处理流程已不再适用生产后期水处理排放指标的要求。

3 新型聚结除油器处理效果分析

3.1 替代水力旋流器对处理效果的影响

由于新型聚结除油器聚结内件的亲油疏水特性,具有一定耐冲击负荷能力。分离器高压运行时,进入生产水系统含油浓度为 1 200 mg/L 以内。生产后期,前端分离器压力降低,尝试对低压分离器经增压泵增压后直接进入聚结除油器处理。试验监测数据得出,聚结除油器平均进口含油较改进前翻倍,约 2 400 mg/L,但出水平均含油 28.7 mg/L,仍低于 30 mg/L,说明聚结除油器对高含油生产水

具有较好适应性,去油效率在 95% 以上。替代水力旋流器流程的监测数据如图 2 所示。

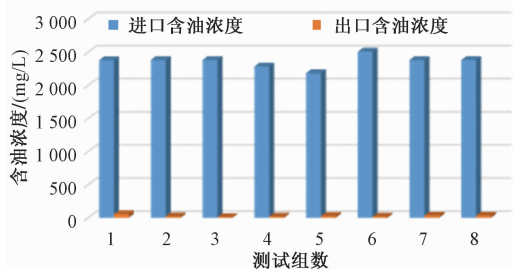


图2 替代水力旋流器流程的监测数据

3.2 启用水力旋流器对处理效果的影响

增加聚结除油器满足出水要求的改进下,设备前端仍保留水力旋流器的流程对于生产水系统最终排海是否带来更优的处理效果的问题,对流程进行改进,采用将启动水力旋流器仍作为第一级处理,其后进入聚结除油器作为第二级处理,最后进入脱气除油罐的三级流程。试验监测数据得出,聚结除油器平均进口含油约 330 mg/L,出水平均含油 39.3 mg/L。启用水力旋流器的监测数据如图 3 所示。

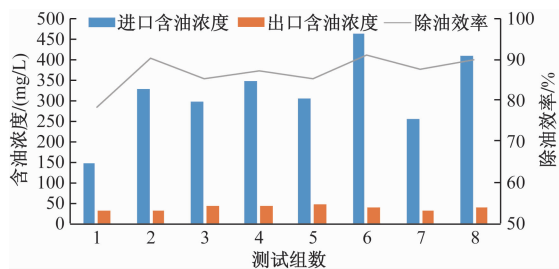


图3 启用水力旋流器的监测数据

根据数据分析及对比可知,聚结除油器进水含油浓度远低于不设置水力旋流器的情况,水力旋流器接受分离器的水相来液后,对浮油进行了有效去除。但聚结除油器出水含油浓度却比不设置水力旋流器的情况高,说明经水力旋流器处理的前端工序,加剧了油的乳化程度,聚结除油器在相同条件下,去除率从 95% 降低至 87%。

3.3 启用生产水增压泵对处理效果的影响

系统改造前后设置增压泵的监测数据得出,当分离器压力相同的条件下,聚结除油器平均进口含油量相当,设置增压泵监测数据如图 4(a) 所示,其出水平均含油 20.8 mg/L;不设置增压泵监测数据如图 4(b) 所示,其出水平均含油 19.9 mg/L。设备去除率均达到 95% 以上。由此可知,当分离器压力及其他条件相同时,增压泵对聚结除油器处理效果的影响不成为首要限制因素。

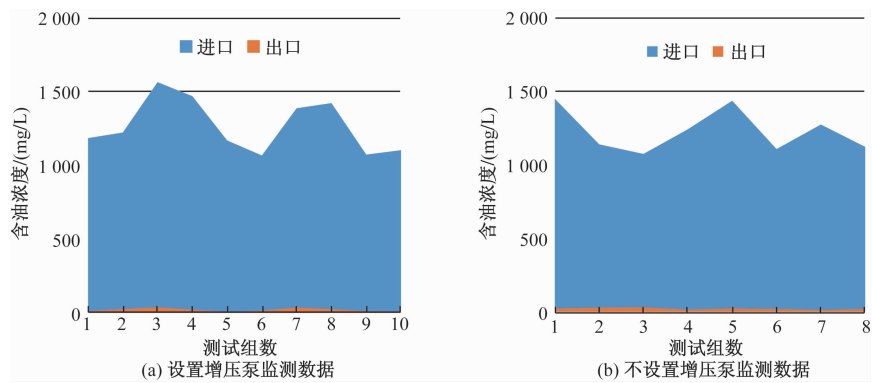


图 4 设置与不设置增压泵监测数据

3.4 聚结内件寿命对处理效果的影响

聚结内件使用 3~5 年,存在一定老化或持续受到腐蚀影响,聚结除油器出水平均含油 43.2 mg/L,当月一次最大出水含油 50 mg/L。仍采用脱气除

油罐,即聚结除油器+脱气除油罐的两级流程。经测定,出水月平均含油 32.2 mg/L,好于聚结除油器直接排海情况。在线运行监测数据如图 5 所示。

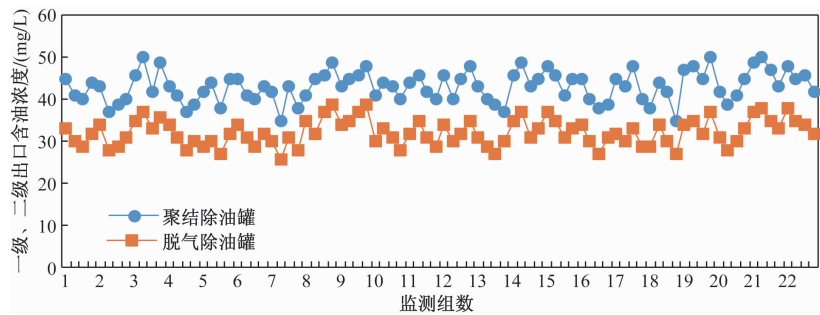


图 5 在线运行监测数据

3.5 效果及创新

几种方案对比研究结果表明:新型聚结除油器接收高乳化油生产水具有耐受性,生产水增压泵对聚结除油器的除油效率改变不大,除油效果较好;在生产水增压泵和水力旋流器的作用下会加剧其乳化性,除油效果变差;随着聚结内件老化,满足排海要求的情况下出水含油指标有所上升。

南海通常采用水力旋流器作为一级水处理工艺去除浮油的技术方法较为成熟<sup>[10]</sup>,而本工程聚结除油器通过改性材料的除油特性,尝试取代水力旋流器,从前端工艺出水后直接进入聚结除油器的方案更加提高了除油率,降低排海指标,对去除浮油和乳化油均取得较好效果。

4 南海油气田工程应用的综合评价

统计近年来在南海开发运行的 13 个油田中,油品密度在 0.83~0.94 kg/m<sup>3</sup> 区间,CFU、脱气除油罐和聚结除油器均有采用<sup>[11]</sup>。其各自在相同水平下的工程规模,以某中质油田为例进行对比。最高日产水量高于 20 000 m<sup>3</sup>/d,油田油品密度约 0.883 kg/m<sup>3</sup>,

含硫低、含蜡高、凝点高以及无难处理杂质,排海含油指标月平均排放浓度不超过 45 mg/L<sup>[12]</sup>。

4.1 处理指标分析

前端分离器停留时间为 5 min,分离器水相出口进入生产水含油量理论值不大于 1 000 mg/L,现场实测数据一般在 500~700 mg/L 的区间,脱气除油罐对分散油和乳化油的抗冲击负荷能力低于 CFU 和聚结除油器,因此在相同停留时间时,除油效率将略低,约在 50% 以上。采用技术成熟可靠的 CFU 和聚结除油器,除油效率约在 75% 以上。根据对比,脱气除油罐要达到合格的处理指标要求,需适当增加停留时间以增加其处理可靠性。

4.2 设备规模及运行分析

4.2.1 静设备规模对比

脱气除油罐和聚结除油器两种设备相比 CFU 均为静设备,设备本身不需要回流泵。对比国内外产品,停留时间控制在 3~5 min 可满足临界流速要求。脱气除油罐靠物理沉降分离,停留时间至少要

达到 5 min 及以上较为可靠。为了良好的脱气除油效果,设备尺寸主要考虑长径比、设备运输限制、占地面积等要求。经厂家反馈,罐体直径控制在 3.8~4.2 m,按照设计水量 1 000 m<sup>3</sup>/h 的工程规模。根据计算,脱气除油罐要达到处理效果,长度 20 m 以上,占地面积 80 m<sup>2</sup> 以上,而聚结除油器可控制在 17 m 以内,占地面积 68 m<sup>2</sup> 以内。脱气除油罐在规模和投资上不具备优势。两种设备在不同停留时间下的设备参数见表 1。

表 1 不同停留时间下两种设备尺寸对比

| 设备种类      | 停留时间/<br>min | 有效容积/<br>m <sup>3</sup> | 设备长度/<br>m | 设备直径/<br>m | 占地面积/<br>m <sup>2</sup> |
|-----------|--------------|-------------------------|------------|------------|-------------------------|
| 脱气<br>除油罐 | 5            | 88.3                    | 17         | 4          | 68                      |
|           | 6            | 106                     | 20         | 4          | 80                      |
|           | 7            | 123.6                   | 23.3       | 4          | 93.2                    |
| 聚结<br>除油器 | 3            | 53                      | 9.98       | 4          | 39.92                   |
|           | 4            | 70.7                    | 13.3       | 4          | 53.2                    |
|           | 5            | 88.3                    | 17         | 4          | 68                      |

4.2.2 动设备与静设备对比

考虑控制设备工程规模的因素,CFU 与聚结除油器具备选择条件。对于 CFU 要实现好的处理效果要靠循环泵的回流并不断产生浮选气,严格控制气水比是运行中的关键要素,由于来液量的波动,运行中要不断调整气水比。当乳化程度较高时,还需辅助一定量的浮选剂以达到良好的处理效果。以高峰水量 1 000 m<sup>3</sup>/h 的生产水为例。

1)当 CFU 选用国产品牌,CFU 成撬总重量、总占地面积与聚结除油器相比,成撬费用可节省 70%~80%。经对比,CFU 在工程规模和初始投资方面都比聚结除油器有优势。但每年约产生 259 m<sup>3</sup> 的药剂量,折合费用至少 130 万~150 万元药剂费,并配有每吨水 60 kW·h 的电耗。

2)当 CFU 扩大采办范围时,投资将发生颠覆,初始投资约为聚结除油器初始投资的 1.92 倍,同时附加动力能耗和药剂费,明显存在劣势。

3)聚结除油器检修概率低、无须药耗或较低药耗、无须动设备消耗等方面优势,对于油田全寿命周期的无人化或少人化改造、提升智能化水平和台风模式应对都将具有适应性。

5 结语

1)针对生产后期生产水高乳化油现象,在生产水增压泵和水力旋流器的作用下会加剧其乳化性,对除油效果产生一定影响,去除率从 95%降低至

87%。通过采用新型聚结分离器作为水处理系统第一级工艺替代水力旋流器的改进方法,去除效率可达 95%以上。

2)同等条件下,聚结除油器相比脱气除油罐可节省约至少 67%的占地空间。当聚结内件保持良好状态下,系统无须增加化学药剂和回流泵的工程投入,可每年节省约 20%的运维费。当聚结内件使用年限超过一定年限时,出水月平均含油浓度从低于 30 mg/L 上升至 43.2 mg/L,应增加清洗频次。当内件编织结构发生改变时,考虑更换内件。

新型聚结除油器可有效去除乳化油的同时降低大量生产水排海含油的累积效应。对于广阔的南海油气田开发前景,由于其简化操作的运行特点,在南海智能油田中实现有人平台少人化和无人平台智能化建设具有应用潜力,未来可进一步研究其在南海台风模式改造方面的应用。

参考文献

[1] 潘云鹤,唐启升. 海洋工程科技中长期发展战略[M]. 北京:海洋出版社,2020.

[2] 《海洋石油工程设计指南》编委会. 海洋石油工程设计指南:海洋石油工程设计概论与工艺设计[M]. 北京:石油工业出版社,2007.

[3] 马喜平,全红平. 油田化学工程[M]. 北京:化学工业出版社,2018.

[4] 孙盖南,刘懿谦,卢浩,等. 新型纤维聚结污水除油技术实验及应用研究[J]. 水处理技术,2019,45(9):110-114.

[5] 陈涛涛,邵天泽,陈家庆,等. 紧凑型旋流气浮一体化技术的国产化研究进展与主体结构浅析[J]. 北京石油化工学院学报,2014,22(2):59-66.

[6] 刘春花,王春升,周超,等. 海上生产污水气浮旋流分离装置设计及试验[J]. 石油机械,2018,46(8):55-59.

[7] 韩旭,罗立臣,许瑞杰. 气浮技术在海上平台含油污水处理中的应用[J]. 油气田环境保护,2015,25(4):22-23,30.

[8] 卢浩,刘懿谦,代品一,等. 油水强化分离技术[J]. 化工进展,2020,39(12):4954-4962.

[9] 杨强,卢浩,李裕东,等. 聚结分离技术在含油污水处理中的应用研究进展[J]. 环境工程学报,2021,15(3):767-781.

[10] 毛伟志,余智. 海上含油污水处理技术发展研究[M]. 南京:海洋出版社,2009:1534-1538.

[11] 郝连朋,朱静红,付长营. 气浮技术在海上平台含油污水处理中的应用探究[J]. 中国石油和化工标准与质量,2018,38(7):151-152.

[12] 国家海洋局. 海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值:GB 4914—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

# Application of New Combined Coalescer in Produced Water System of Nanhai Oil and Gas Fields

QIN Yihan, HU Bin, GONG Jingwen, JIAO Yatao

(CNOOC Research Institutem Co. ,Ltd. ,Beijing 100028,China)

**Abstract:** In order to solve the problem that the conventional physical separation equipment is difficult to achieve good oil removal effect caused by the serious emulsification of produced water in Nanhai oil and gas fields, based on a gas field, the methods of process improvement test and data analysis are used, and the substitution effect and oil removal effect of a new combined coalescer in different process flows are studies. Combined with the large-scale produced water system project, the comprehensive evaluation of coalescence degreaser in project implementation is compared. The results shows that the new combined coalescer has more than 95% oil removal efficiency for emulsified oil, and gradually shows its operation and maintenance advantages and economic advantages after putting into operation.

**Keywords:** produced water treatment;new combined coalescer;hydrocyclone;floatation;treatment effect