

海上平台气浮出口生产水含油偏高分析与处理

祁晓 曾祥红

中海油能源发展股份有限公司采油服务分公司, 中国·天津 300452

摘要: 海上某平台紧凑型气浮设计最大处理量为 600m³/d, 设计生产水除油效率可达 80%, 实际生产过程中出口水含油超过 300ppm, 远超设计值, 极大增加下游流程处理压力, 严重影响到出水水质处理合格。文中对含油率偏高原因进行全面分析, 通过设备清罐、流程优化等措施, 最终成功将气浮出口生产水含油率降至 150PPm 以下, 提高了生产水处理水质, 保证了注水合格, 同时也为油田后期提液增产奠定坚实基础。

关键词: 紧凑型气浮; 水力旋流器; 生产水; 含油率

Analysis and Treatment of High Oil Content in Production Water by Offshore Platform Compact Flotation Unit

Qi Xiao Zeng Xianghong

CNOOC Energy Technology & Services Oil Production Services Company, Tianjin, 300452, China

Abstract: The maximum processing capacity of a compact flotation unit design for a certain offshore platform is 600m³/d, and the designed production water oil removal efficiency can reach 80%. In the actual production process, the oil content in the outlet water exceeds 300PPm, far exceeding the design value, greatly increasing the downstream process processing pressure and seriously affecting the qualified treatment of water injection quality. The paper comprehensively analyzes the reasons for the high oil content, and through measures such as equipment tank cleaning and process optimization, ultimately reduces the oil content of the production water at the compact flotation unit outlet to below 150PPm, improves the water quality of production water treatment, ensures qualified water injection, and lays a solid foundation for the later stage of oil field liquid extraction and production increase.

Keywords: Compact flotation unit; Hydrocyclone; Production water; Oil content

0 前言

生产水是指在油气田开采过程中地下储层的水被带到地表所产生的废水, 是油气田开采过程中第一副产品^[1]。油田含油污水有很多种, 根据油气田所处位置的不同, 采出水可分为陆上油气田污水和海上油气田污水; 根据油品性质的不同, 油田污水可分为稠油污水、稀油污水和高凝油污水; 根据生产工艺的不同, 油田污水可分为原油脱出水、钻井污水、站内其他类型含油污水^[2]。

渤海油气田油气藏类型多, 油气分布范围广, 包括凝析油气藏、轻质油油藏、稠油油藏, 其中以稠油油藏为主^[3-4]。海上平台的生产水一般为原油脱出水。现阶段, 渤海大多数油田进入生产中后期, 油田含水质量分数逐渐升高, 含水量剧增^[5]。伴随着环保形势的日益严峻, 渤海油气田要求生产水处理达标后全部回注^[6], 实现含油污水的零排放。如何高效地处理含有污水, 并且将处理合格的含有污水回注地层成为制约海上平台提液增产的关键。

气浮处理装置是一种较为成熟且应用广泛的一种生产水处理装置, 海上平台常见的气浮装置多种多样, 无论是在结构形式还是采用原理方面都存在着一一定的差异, 都存在在本

身的原理和优缺点^[7]。紧凑型气浮装置(CFU)是一种新型高效的生产水处理装置, 其基本原理是气泡发生器在气浮入口, 将产生的大量细微气泡注入生产水, 然后沿切线方向进入紧凑型气浮罐体在罐壁与内部稳流筒之间形成的环形空间内产生旋流, 旋流引起的离心力场驱使气泡与油滴高效黏附, 黏附气泡后的油滴与水的密度差进一步加大, 进而加速浮升, 提高了油水分离效率, 实现对生产水的高效处理, 同时大幅缩短了生产水处理停留时间, 减小了处理设备的尺寸^[8]。气浮分离技术因其在短停留时间内处理量大、结构紧凑、对细微颗粒物的较高分离效率、添加药剂的情况下可维持高质量出水水质等优点而更适用于对承重及空间要求严格的海上油田生产平台的生产水处理流程^[9]。

随着平台采出液含水升高和设备老化, 简单地通过提高清水剂、破乳剂注入浓度, 已无法解决外排生产水含油超标的问题。以海上某平台为例, 分析紧凑型气浮出口生产水含油率偏高的原因对症下药, 通过一系列优化措施取得较好的现场应用效果。

1 背景及现状

目前 A 平台生产水处理系统主要包括 1 台水力旋流器、

一台紧凑式气浮、5 台注水泵以及 1 个注水缓冲罐。来自 A 平台自来水分离器的生产污水，首先进入 A 平台水力旋流器进行分离，产生的污油通过管线进入闭排罐，水力旋流器出口污水进入 B 平台紧凑式气浮进行再次处理，进一步脱除污水中携带的小油滴和乳化油，之后再经过核桃壳过滤器等后续处理流程处理完后回输至 A 平台回注地层。其中，A 平台紧凑式气浮是 A 平台生产水处理最后一级设备，其处理效果关系到下游平台的水处理系统稳定性，需要特别关注。

1 月 1 日至 1 月 31 日某油田 A 平台紧凑式气浮出口水含油值进行统计分析，分析情况，如图 1 所示。

由表 1 统计可以看出，A 平台紧凑式气浮出口水含油基本维持在 270ppm 以上，一月份均值在 315ppm。而 A 平台紧凑式气浮出口水均传输至 B 平台紧凑式气浮处理。A 平台紧凑式气浮出口水含油高，会连锁引起下游水处理系统负荷增大，增加下游核桃壳过滤器的反洗次数，缩短滤料更换时间，增加操作成本。因此，A 平台紧凑式气浮出口生产水含油值偏高问题有必要解决。

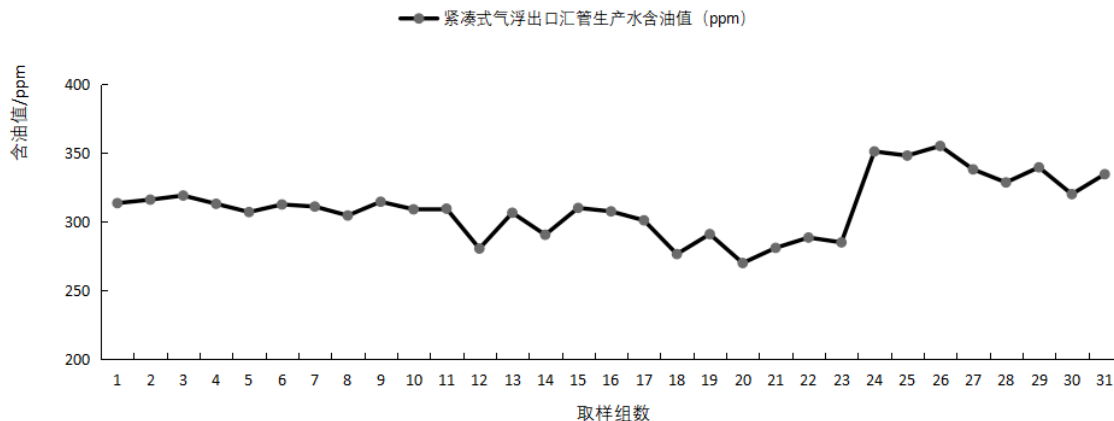


图 1 紧凑式气浮出口生产水含油值

2 原因分析

A 平台历经多次改造，处理流程和运行工况跟投产初期相比有较大变化，紧凑式气浮作为生产水处理的关键设备，处理效果不佳给下游 B 平台紧凑式气浮和核桃壳过滤器生产水处理带来很大压力。要解决出口含油率高的问题，必须要追根溯源，找到含有率升高的原因。经过对紧凑式气浮生产现状的调查和问题症结分析，结合 A 平台的生产现状情况和上述数据进行分析总结，将影响紧凑式气浮出口生产水含油值的因素整理如下：

①水力旋流器超处理量。水力旋流器是紧凑式气浮上一级处理设备，主要利用油水密度不同，通过离心力的作用，在处理污水的过程中可以采用这种作用来去除污水中的杂质，这种处理方法运用起来比较简单，通常会借助高速的旋转运动，从而形成稳定的离心力场，由此可以快速分离污水中的杂质和水成分^[10]，实现油水分离。水力旋流器的主要功能部件是旋流管，根据不同处理量，安装对应数量的旋流管。当处理量超过设计值，处理效率下降，出口含油率上升。经查询资料发现，当水力旋流器处理量小时，生产水停留时间长除油效果较好，当处理量较大时，旋流场较强也利于除油。而中间流量段处理效果最差，分析原因为水力停留时间不够长，旋流强度也较弱，微小气泡与分散相油滴径向迁移引起的碰撞黏附概率也较小，不利于形成大油滴，导致除油效果变差^[11]。因此，控制合理的处理量，对于出口水质影响较大。也就会造成下游紧凑式气浮入口含油率上升，相应

地同等工况下，气浮出口含油率上升。

②水力旋流器内部杂质沉积。水力旋流器内部结构较为复杂，旋流管内部较细，容易发生堵塞。水力旋流器长期运行，设备内部会有泥沙等杂质沉积，如不及时开盖清洗，会严重影响处理效果，造成出口生产水含油率升高，进而影响下游紧凑式气浮出口含油率。

③闭排转液进分离器含油杂质、污油。A 平台闭排收集了平台生产系统的污油排放、开排转液排放，而开排转液收集了平台地漏水、生活污水处理废水。A 平台闭排上游来液较多，成分复杂，闭排进入生产分离器后分离出的生产水依次进入水利旋流器和紧凑式气浮。因此上游来液成分复杂，会直接影响到下游设备的处理效率，影响气浮后含油率。

④紧凑式气浮溶解气量不足。通过向气浮注入溶解气让污水产生微小的气泡，微小气泡漂浮过程中会接触到含油污水中的悬浮颗粒物及原油中的其他成分，然后将相应物质吸附出来，以此来实现分离效果^[6]。溶解气注入量的大小直接影响紧凑式气浮除油效果。

⑤化学药剂浓度不合理。A 平台水处理系统主要加注药剂是清水剂。清水剂的核心作用机理是破坏油水乳液（主要是水包油型）的稳定性，清水剂主要通过凝聚作用、架桥作用、破乳作用、浮选作用，降低乳化油表面张力，促进油水分离。清水剂通过其特殊的化学结构（通常是高分子量、具有特定亲水亲油平衡值的表面活性剂），优先吸附到油水

界面上, 主要实现: 中和油滴电荷, 消除静电排斥屏障; 破坏或弱化稳定的界面膜, 移除物理阻碍促进小油滴聚并成大油滴, 加速分离动力学; 降低界面张力, 改变固体润湿性。这些作用协同发生, 最终导致原本稳定的水包油乳液崩溃, 油滴聚结、上浮(或水滴沉降), 实现油水的有效分离, 达到原油脱水、污水除油、净化水质的“清水”目的。清水剂维持在合理的加注浓度有助于提高油水分离效率。A 平台清水剂加注点为生产分离器出口, 加药浓度会直接影响各级水处理设备的生产水含油率。

通过查阅资料和现场实践发现, A 平台水利旋流器生产水处理量基本稳定, 平均约为 560 方/小时, 处理水量均处于水利旋流器最优处理区间(460~644 方/小时)内, 并未超设计处理量 660 方/小时。另外在紧凑式气浮溶解气量后, 其出口水质未有明显改观, 因此判断浮溶解气量不足对含油率影响程度较低。此外, 通过现场调研, 查找设备资料, 发现 A 平台紧凑式气浮内部容积为 9.87m³, 入口管线为 10 寸管线, 长度为 2.82 米。计算得出管线加设备的容积共为 10m³。查询 A 平台紧凑式气浮的近一个月的实际处理量为 580m³/h, 计算得出当前清水剂加药口位于紧凑式气浮入口时, 药剂反应时间为 62 秒, 小于指导手册要求的 120 秒, 药剂反应时间过短影响紧凑式气浮反应时间, 影响出口生产水含油率。

综上所述, 要降低紧凑式气浮出口生产水含油率, 主要从三方面着手: 一是对水力旋流器内部杂质进行彻底清理; 二是优化闭排运行模式, 切换转液流程; 三是清水药剂在流程中的反应时间。

3 降低含油率的研究及实践

3.1 水力旋流器清罐作业

对水力旋流器开展了清罐作业, 清罐前后紧凑式气浮出口生产水含油值下降明显, 紧凑式气浮出口生产水由清罐

前平均 253ppm, 下降到清罐后平均 178ppm, 出口水含油平均值下降幅度 29%。由此可知水力旋流器内部杂质对水力旋流器处理效果造成明显影响, 清罐效果显著。

3.2 优化闭排运行模式

根据实际流程运行情况, 将闭排转液泵持续倒出至混输海管, 不再进生产分离器。减少闭排转液中存在的污油、杂质等对自由水分离器的脱水产生影响。尝试将闭排泵转液至混输海管, 并持续关注水处理系统变化情况并记录数据。在实验期间对 A 平台紧凑式气浮出口水含油进行通过更改闭排泵转液模式, 将闭排转液倒出自由水分离器, 气浮出口水含油值平均降低 15%, 效果显著。

3.3 增加化学药剂反应时间

现场开展了前移药剂加注点的实验, 进一步验证化学药剂反应时间对紧凑式气浮处理效果的影响, 现场通过尝试将加药点调至 A 平台水力旋流器入口, 通过测量管线长度, 计算容积, 分别计算得出加药点在不同位置时的药剂反应时间, 通过更改药剂加注点, 药剂反应时间由 62 秒延长至 130 秒, 达到指导手册要求的 120 秒以上, 清水剂药剂注入点更换后, 多次对紧凑式气浮出口水质进行取样化验, 记录清水剂注入点更改前后紧凑式气浮出口生产水含油值情况。对比措施前后, 紧凑式气浮出口的水质平均值由 188ppm 下降至 146ppm, 平均下降约 22%, 效果显著。

3.4 实践效果

措施实施后, 对紧凑式气浮出口生产水含油值情况进行统计, 结果如图 2 所示。

通过图 2 可知, 措施实施后 15 天, 较措施实施前截取的 15 天水质普遍好转, 其中未实施措施前, 紧凑式气浮出口生产水含油值最高值为 302ppm。实施措施后, 紧凑式气浮出口生产水含油值达到 150ppm 以下, 且生产水含油值达标率为 100%, 紧凑式气浮出口生产水含油值降低效果显著。

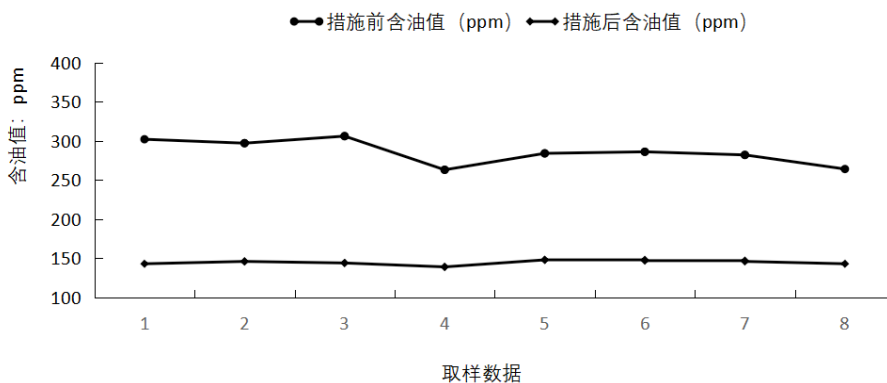


图 2 措施实施前后紧凑式气浮出口生产水含油值对比图

4 结语

对于海上平台而言, 降低生产水含油率是一个永恒的课题。生产水含油率低、处理指标合格不仅对于回注地层起

到保护作用, 同时还能减轻各级设备处理负荷, 实现降本增效。要降低含油率, 就需要根据现场实际情况综合考虑, 多措并举, 同时生产处理流程也是一个动态变化的过程, 流程工况的变化调整都会对水质产生影响, 这就需要根据实际情

况灵活采取措施。论文通过分析影响生产水含油率的因素,逐一排查确定主要因素,并采取针对性措施取得了良好的现场应用效果,其成功经验对于其余油田设施处理类似问题也提供一定的参考借鉴。

参考文献:

- [1] OTTAVIANO J G, CAI J, MURPHY R S. Assessing the decontamination efficiency of a three-component flocculating system in the treatment of oilfield- produced water[J]. *Water Research*,2014(52):122-130.
- [2] 王振伍,钟小侠.生产水处理新工艺在海洋平台的应用[J].*石油和化工设备*,2015,18(4):98-99.
- [3] 王应斌,王强,黄雷,等.渤海海域油气藏分类方案及分布规律[J].*海洋地质动态*,2010,26(11):7-12.
- [4] 张玮.渤海海域原油特征及油源分析[J].*内江科技*,2018,39(10):90-92.
- [5] 杨双春,孙锡博,李蕾,等.采油废水物化处理法研究进展[J].*环境科技*,2013,26(2):71-74.
- [6] 王新乐.海上油气田生产水处理工艺及新技术浅析[J].*山东化工*,2024,53(5):64-69.
- [7] 岑量.海洋石油热采平台锅炉海水淡化处理工艺设计[J].*石化技术*,2019,26(10):21-24.
- [8] 尚超,王春升,郑晓鹏,等.海上生产水处理用紧凑型气浮技术研究[J].*工业水处理*,2015,35(4):81-84.
- [9] 李祖君,代品一.渤海油田生产水处理技术进展[J].*中国海洋平台*,2022,37(1):63-69.
- [10] 齐延云,陈国柯,夏体德.海洋石油油田生产水处理工艺及技术研究[J].*技术研究*,2023(5):95-97.
- [11] 李冰.油田含油污水处理及回用技术研究[J].*化工管理*,2020(12):125-126.

作者简介: 祁晓(1991-),男,本科,工程师,从事海上油田油气开采及油气水处理工艺管理与研究。