

# 降低某海上平台气浮氮气消耗量应用与实践

孙海龙 王俊豪 李奇龙 郭海平 梅豪

中海石油（中国）有限公司天津分公司 天津 滨海新区 300450

**【摘要】**：某油田某平台具备完整的四级生产水处理系统，第二级生产水处理设备为溶气式气浮，双系列运行。气浮通过溶气泵将处理合格的水与氮气混合，输送至气浮入口释放微小气泡与水中的油粒及悬浮物结合，达到水处理效果。目前气浮氮气用量平均超过 60Sm<sup>3</sup>/h，严重影响制氮机及膜组的使用寿命。通过对 2023 年 5 月至 2024 年 5 月气浮处理液量、出口含油浓度及氮气用量等数据的现状调查，发现入口含油浓度与氮气用量呈正相关，污水泵/污油泵启停导致氮气罐压力下降，常压罐 PVSV 存在故障导致氮气泄漏，药剂加药浓度不合理为主要影响因素。经现场验证与优化，采取浮选剂 BHFX-06 浓度调整为 20ppm、在污油泵不转液时关闭入口氮气、转液时打开并选择最小阀门开度等措施，有效降低了氮气消耗量，达到了 <20Sm<sup>3</sup>/h 的预期指标，释放了制氮系统裕量，为油田节能降耗提供了参考。

**【关键词】**：气浮；氮气消耗；溶气式；化学药剂；PVSV；操作优化

DOI:10.12417/2811-0722.26.05.005

## 1 背景

### 1.1 概述

某油田某平台具有完整的四级生产水处理系统。第二级生产水处理设备加气浮选器为溶气式气浮，双系列运行。气浮工作原理为将处理合格的水与氮气通过溶气泵混合，输送至气浮入口释放微小气泡与水中的油粒及悬浮物结合，达到水处理效果。同时，水系统各常压罐使用氮气作为覆盖气，以保证各罐压力的稳定。

### 1.2 处理现状

通过对 2023 年 5 月至 2024 年 5 月气浮的日处理液量、气浮出口含油浓度和气浮氮气用量调查发现，平台当前氮气消耗量较大，平均超过 60Sm<sup>3</sup>/h，严重影响制氮机及膜组的使用寿命，距离小于 20Sm<sup>3</sup>/h 的氮气使用量指标还有不小差距。

表 1 加气浮选器处理液量与入口含油值及氮气使用量

时间	气浮 A 处理液量 (m <sup>3</sup> /h)	气浮 B 处理液量 (m <sup>3</sup> /h)	入口含油浓度 (ppm)	气浮氮气使用量 (Sm <sup>3</sup> /h)
2023 年 5 月	235	238	134/141	62
2023 年 6 月	237	239	133/140	60
2023 年 7 月	235	241	138/145	62
2023 年 8 月	236	245	140/141	61
2023 年 9 月	239	246	142/149	65
2023 年 10 月	242	248	141/145	63
2023 年 11 月	249	237	143/147	61
2023 年 12 月	233	239	137/142	63
2024 年 1 月	240	237	136/141	63
2024 年 2 月	244	235	137/144	63
2024 年 3 月	245	244	134/143	65
2024 年 4 月	244	245	135/143	65

2024 年 5 月	248	247	137/148	67
------------	-----	-----	---------	----



图 1 优化前气浮氮气消耗量趋势

## 2 原理及构造

### 2.1 气浮技术原理详解

溶气式气浮（Dissolved Gas Flotation, DGF）是油田生产水处理中广泛采用的精细除油技术，其核心原理基于气体在液体中溶解度随压力变化的亨利定律。在一定压力下，氮气通过溶气泵与处理合格的水充分混合，形成高压饱和溶气水；当该溶气水经减压释放器进入气浮入口时，压力骤降，溶解的氮气迅速以微小气泡（直径通常 30~100μm）形式逸出。这些微小气泡具有极大的比表面积，能高效吸附水中分散的油粒、悬浮物及胶体颗粒，形成气-油-固复合体，其密度远小于水，从而快速上浮至液面，由刮渣机刮除，实现油水高效分离。

平台采用氮气作为气源，主要原因在于氮气化学性质稳定，可有效避免氧气引入导致的设备腐蚀和二次污染，同时氮气在水中的溶解度适中（常温常压下约 0.016L/L），加压后溶解量可显著增加，释放时能形成均匀稳定的微气泡。气浮双系列运行时，入口溶气水流量与氮气注入量直接决定气泡生成密度；当入口含油浓度升高时，需增加氮气用量以提高气泡-油粒碰撞概率，从而保证出口含油达标。

气浮内部构造主要包括溶气系统、释放系统、分离区和刮

渣系统。溶气泵将氮气与水按一定比例混合后加压至0.3~0.5MPa；释放器采用高效微孔或文丘里结构，确保气泡均匀释放。分离区液位稳定在设定值，上部为浮渣层，中部为净化水层，下部为沉渣层。平台各常压罐（生产水缓冲罐、污水罐、污油罐、注水缓冲罐等）均以氮气作为覆盖气，通过PVSV阀维持罐内微正压（0.5~2kPa），防止空气进入和油气挥发。

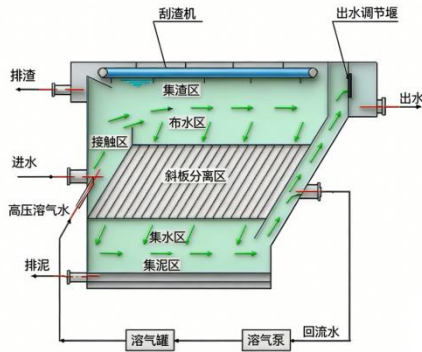


图2 气浮内部结构示意图

## 2.2 构造特点

平台气浮采用双系列平行运行，单系列设计处理能力与平台水量匹配，设备设有液位、压力、流量在线监测仪表，便于实时调控氮气注入量。

## 3 影响氮气消耗因素分析

(1) 入口含油浓度变化。入口含油浓度升高时，为保证出口含油达标，需增加氮气用量以产生更多气泡，二者呈正相关关系。

(2) 污水泵/污油泵启停操作。泵启停导致罐内液位变化，为维持压力需补充氮气，增加消耗。

(3) 常压罐 PVSV 存在故障。PVSV 泄漏导致氮气持续流失。

(4) 化学药剂加药浓度不合理。浮选剂浓度不当影响气浮效率，间接增加氮气需求。

(5) 操作工况。阀门开度过大、转液频次高等因素加剧氮气使用。

## 4 氮气消耗降低验证及措施

### 4.1 入口含油浓度与氮气用量相关性验证

结果显示：当入口含油浓度升高时，氮气使用量随之增加，氮气罐压力呈下降趋势，二者存在正相关关系。说明提高气浮出口水质可直接节约氮气用量。

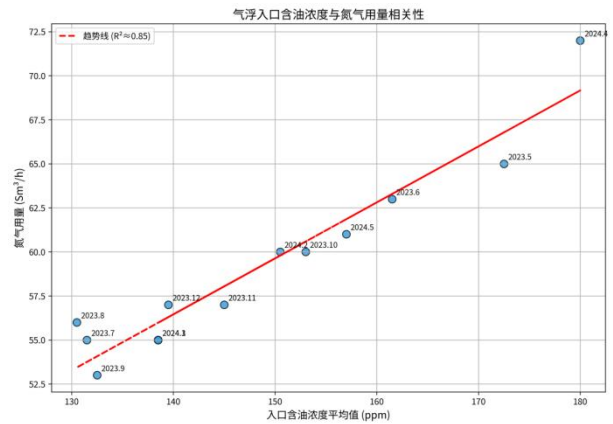


图3 气浮入口含油浓度与氮气用量相关性

### 4.2 污水泵/污油泵启停对氮气罐压力影响验证

结合污水泵、污油泵启停时机，对氮气罐压力变化进行跟踪，共10组数据，启泵前后压力下降4~9kPa。结果：在泵启停过程中，随着罐内液位降低，需补充氮气维持压力，导致氮气罐压力下降，增加了氮气消耗量。

### 4.3 常压罐 PVSV 故障验证

表2 常压罐 PVSV 隔离前后氮气罐的压力变化

常压罐名称	隔离前氮气罐压力/kPa	隔离后氮气罐压力/kPa
生产水缓冲罐	943	966
污水罐	945	967
污油罐	941	965
气浮	945	973
注水缓冲罐	943	965

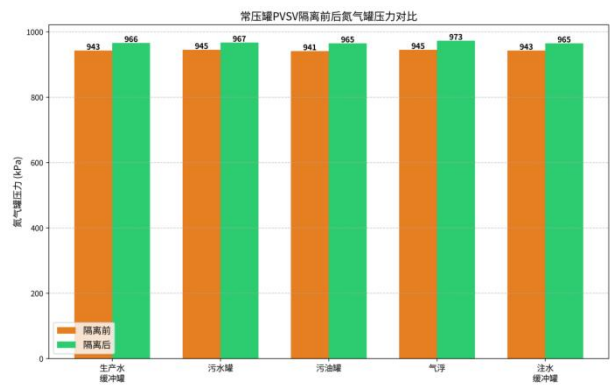


图4 常压罐 PVSV 隔离前后氮气罐压力对比

结果：隔离后氮气罐压力均明显上升，证实各常压罐 PVSV 存在故障，导致氮气泄漏。

### 4.4 浮选剂配伍性及加药浓度优化验证

表3 浮选剂起泡性能统计表（部分）

序号	药剂名称	加药浓度 (ppm)	震荡后泡沫体积(ml)	2min 后泡沫剩余量(ml)	备注

1	BHFX-06	50	8	2	起泡量大, 消除快
2	BHFX-04A	50	2	2	起泡量少, 但稳定

结果显示: BHFX-06 起泡量较大但消除速度较快, 对 BHQ-133、BHQ-391 清水效果无影响, 配伍性良好。

基于上述验证, 集体讨论确定主要原因为药剂加药浓度不合理与常压罐 PVSV 故障。制定并实施以下措施:

(1) 浮选剂 BHFX-06 的浓度调整为 20ppm。通过优化加药浓度, 提高气浮分离效率, 减少氮气用量。

(2) 在污油泵不转液时关闭入口氮气, 转液时再打开口氮气。在流程平稳的前提下, 选择最小阀门开度, 减少氮气消耗量。同时对 PVSV 开展排查维修, 有效阻止泄漏。

措施实施后, 平台氮气消耗量从平均 63.1Sm<sup>3</sup>/h 降至 17.5Sm<sup>3</sup>/h, 达到预期效果。

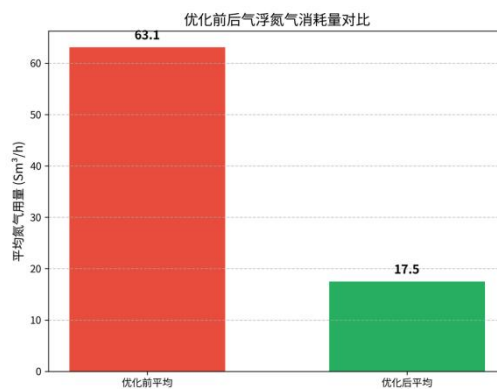


图5 优化前后气浮氮气消耗量对比

## 5 结论及建议

基于上述试验与措施实施, 有以下结论和建议:

- (1) 常压罐 PVSV 存在故障是氮气泄漏的主要原因之一, 建议定期开展隔离验证与维修。
- (2) 通过将浮选剂 BHFX-06 浓度优化至 20ppm, 气浮分离效率提升, 氮气用量大幅降低。
- (3) 优化污油泵氮气使用操作 (不转液时关闭入口氮气、最小阀门开度), 在保证流程稳定的前提下有效节约氮气。
- (4) 入口含油浓度与氮气用量正相关, 建议上游加强预处理, 进一步降低入口负荷。

在油田高含水开发阶段, 气浮氮气消耗是制约平台节能降耗的关键因素。平台通过系统分析与现场试验, 成功识别并解决限制氮气消耗的瓶颈因素, 采取针对性措施有效释放了制氮系统裕量, 为油田稳产增效和设备长周期运行奠定基础, 对同类油田气浮系统优化具有一定的参考价值。

## 参考文献:

- [1] 周宗强, 刘海浪, 曾亚勤, 等. 一种以氮气为气源的压力溶气气浮除油方法及装置: CN1323033C[P]. 2007-06-27.
- [2] 黄发龙. 某油田三相分离器水处理能力提升现场实践[J]. 化工管理, 2024(04): 140-143.
- [3] 裴绍辉. 加气浮选器除油效率提升与改进措施[J]. 化工管理, 2021(3): 165-166.
- [4] 徐鸿, 严达, 路立杰, 等. 化学药剂对生产分离器水质的影响研究[J]. 化工设计通讯, 2021, 47(06): 97-98.