

联合站油水系统改造工艺技术及效益分析研究

李诚诚 赵佳宁 (森诺科技有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 针对胜利油田孤四联站场存在的工艺流程冗长、能耗高、设备老化等问题, 提出一套系统化的优化简化改造方案, 研究采用“高效分水设备+压力缓冲罐+外输”的新型工艺流程, 通过高效分水设备替代传统三相分离器, 实现了工艺流程系统综合能耗降低 86.27%, 碳排放减少 2312.83t CO₂e, 人员优化 70.37%, 年运行费用降低 782.9 万元, 经济效益提升 45.17%。不仅解决了孤四联当前面临的技术难题, 也为老油田地面系统的节能降耗改造提供了工程实践参考, 对推动油田绿色低碳发展具有示范意义。

关键词: 高效分水设备; 优化简化; 节能降耗; 效益分析

中图分类号: TE4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 001-0052-03

Research on Process Technology and Benefit Analysis of Oil-Water System Upgrading in Joint Stations

Li Chengcheng, Zhao Jianing (Senuo Technology Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: In response to issues such as lengthy process flows, high energy consumption, and aging equipment at the Gu Si Lian Station of Shengli Oilfield, a systematic optimization and simplification renovation plan was proposed. The study introduced a novel process flow involving “high-efficiency water separation equipment + pressure buffer tank + external transmission.” By replacing traditional three-phase separators with high-efficiency water separation equipment, the comprehensive energy consumption of the process system was reduced by 86.27%, carbon emissions decreased by 2,312.83 t CO₂e, staffing was optimized by 70.37%, annual operating costs were reduced by 7.829 million yuan, and economic benefits improved by 45.17%. This solution not only addresses the current technical challenges faced by Gu Si Lian but also provides an engineering reference for energy-saving and consumption-reduction retrofits in aging oilfield surface systems, demonstrating significance in promoting green and low-carbon development in oilfields.

Keywords: High-efficiency water distribution equipment; Optimization and simplification; Energy saving and consumption reduction; Benefit analysis

1 研究背景

孤四联承担着周边区块的油气处理任务, 随着开发年限增长, 系统暴露出诸多问题: 一是原油处理流程长, 脱水温度高达 75℃, 能耗损失严重; 二是三相分离器油出口含水率从设计值 30% 升至 50%, 储罐和脱硫塔超期服役, 存在安全隐患; 三是站内布局分散; 四是采出水处理系统水质波动大, 停留时间不足时含油量超标。为此, 亟需通过技术升级优化简化流程、降低能耗、提升效率, 适应油田可持续发展要求, 为老油田地面系统改造提供示范。

2 孤四联现状及问题

孤四联始建于 1983 年 3 月, 目前采用“三相分离器预分水+二级沉降”原油处理工艺, 具有原油脱水、采出水水处理、天然气净化处理等功能。设计液量处理能力 $3 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 实际液量处理能力 $1.9 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 油藏类型为普通稠油, 采出水矿化度 7061mg/L, 聚合物含量 > 50ppm。

2.1 工艺流程

孤四联进站来液 $1.9 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 综合含水率 97.0%, 进站温度 40℃, 进站压力 0.2MPa。井排来液

先进入三相分离器进行预分水, 再经过沉降罐沉降, 经脱水泵增压后进入换热器升温, 升温至 65℃ 进入加热炉加热, 然后进入三次沉降罐沉降, 最后进入净化油罐经外输泵增压外输, 冬季外输前还需加热处理。一次沉降罐、二次沉降罐、三次沉降罐以及净化油罐罐顶设有大罐抽气装置。三相分离器分离出的气组分, 先后经过分离器、干燥器, 之后与大罐抽气的气组分进入脱硫装置, 最后进入天然气系统。三相分离器分离出的水以及沉降出来的水去采出水处理系统。

2.2 存在问题

①原油处理流程长, 脱水温度高, 能耗高, 流程优化潜力大。孤四联原油处理系统总热能损失 2530.73kW, 其中储罐散热损失 390.13kW, 约占总热损的 15.4%。②原油处理设计规模大, 设备运行负荷率低, 具有优化提升空间。孤四联总库容 27000m³, 库存 3291t, 库容利用率 12.19%, 有较大的提升空间。③预分水系统效果差, 且腐蚀严重。随着运行时间越长, 设备腐蚀越严重, 处理效果越差, 出口含水由原来的 30%(设计值) 升至 50%, 脱气效果差, 且设备罐体也出现不同程度的渗漏, 影响正常的预分水效果,

造成后端的沉降时间加长,散热量大。④工艺优化后,站内布局功能区分散,优化潜力大。取消加热、大罐沉降脱水流程等后,原油工艺装置区分布较为分散。经摸排,闲置土地面积 7600m²,站内平面布局优化潜力大。⑤采出水水质存在波动。根据水质沉降试验,沉降 5h 后水质含油达标;当一次除油罐维修时,只有 1 座罐运行时,来水停留时间由 7.8h 减少为 3.9h,停留时间不足,导致出水水质波动。

3 核心工艺技术研究

3.1 总体思路

①工艺优化简化:取消原油二级沉降工艺流程,改为“高效分水设备+压力缓冲罐+外输”密闭工艺流程。②功能区优化布局:原油工艺处理区集中布置,合理优化站内布局,提高土地的利用率,拆除油气设施 32 座、建构物 16 座,闲置土地面积约 14300m²。③信息化提升,实现关键用能环节定量分析及精准优化调节。

3.2 油气处理系统

3.2.1 改造思路

取消原油二级沉降工艺流程,改为“高效分水设备+压力缓冲罐+外输”密闭工艺流程。

3.2.2 前期研究

经过前期研究,目前胜利油田有工业化应用的油气预分水处理设备有 3 种,分别为高频聚结分水装置、电磁复合脉冲装置、高效分水设备。

①高频聚结分水装置。经中国石化油田企业能源检测中心、胜利油田能源监测站检测结论得知:基于原油乳状液的介电击穿特性,通过优化高频脉冲^[1]聚结脱水设备的运行参数,这种创新控制策略实现了双赢效果:一方面允许施加更强的电场强度,另一方面有效预防了极间短路现象,从而确保了脱水电场的持续稳定运行。在电极设计方面,采用独特的复合结构,使电极不仅能够产生高强度电场,还兼具促进液滴表面聚结^[2]的功能,进一步提升了脱水效率。通过对现场工业化设备高频聚结分水装置(Φ4000×20112)检测化验,2022 年至 2023 年,经过追踪 2020 年 4 月至 2021 年 2 月现场数据,目前该设备油出口含水在 40~50%。

②电磁复合脉冲装置。电磁复合脉冲装置应用案例:a. 1000m³/d 含聚重质稠油处理装置。东四联:放置三相分离器节点后,作为预分水设备,出口油中含水 1.0% 左右。b. 150m³/d 原油处理装置。孤三联:处理含聚二元驱稠油,放置三相分离器节点后,作为预分水设备,出口油中含水平均 1.8%。牛页 1-3HF:处理页岩油,作为预分水设备,出口油中含水平均 1.0%。

史南联:处理轻中质油,作为预分水设备,出口油中含水平均 0.5%。

③高效分水设备。高效分水设备应用案例:a. 1500m³/d 中质原油处理装置。滨 425 站:一橇成站,解决改扩建站场征地困难问题,净化油外销,油中含水平均 0.28%~1.0%。b. 1100m³/d 中质原油处理装置。辛 14 站:就地分水、就地处理、就地回注,油中含水平均 10%。

3.2.3 改造方案

3.2.3.1 设计参数

设计液量规模:22000m³/d。设计油量处理能力:570t/d。设计外输含水率:30%。

3.2.3.2 工艺流程

孤四联将现状工艺流程“三相分离器预分水+二级沉降”工艺流程优化简化为“高效分水设备+压力缓冲罐”密闭工艺流程,停用一次、二次沉降罐,保留 5# 罐(3000m³)和 6# 罐(2000m³)作为事故罐使用,含水率 30% 原油输至孤一联。优化简化改造后相较目前现状工艺流程优化减少了 7 个工艺流程节点。

根据孤四联目前现状三相分离器取样室内实验结果,三相分离器预分水停留时间 30min,能够实现油出口含水≤30%。

3.2.3.3 设备能力校核及选型

①分水设备。a. 三相分离器。根据《油田油气集输设计规范》(GB 50350-2015)中 5.3.7 第 3 条规定计算校核,设计液量规模为 22000m³/d,根据沉降脱水实验,按照停留时间≥30min 计算,需要 4 台三相分离器(规格为 Φ4000×22012)。因此,新建 3 台三相分离器、利旧 1 台三相分离器。b. 高频聚结分水装置。参考东一联、东四联运行情况,同比预测孤四联高频聚结分水装置油出口含水率为 30%,则需新建 Φ4000×20112 高频聚结分水装置 3 台、利旧 1 台三相分离器(4#)。c. 高效分水设备。设计液量规模为 22000m³/d,根据沉降脱水实验,按照停留时间≥30min 计算,需要 4 台高效分水设备(规格为 Φ4000×22012)。因此,新建 3 台高效分水设备、利旧 1 台三相分离器(4#)。d. 方案比选。结合孤四联油品性质(密度 0.9616g/cm³)、目前运行工况(油出口含水 50%)、预分水实验结果及设备投资情况,综合比选后本次预分水设备选择高效分水设备。

②压力缓冲罐。根据《油田油气集输设计规范》(GB 50350-2015)中 4.3.16 条规定,考虑 1.2 液量波动系统,经计算,压力缓冲罐有效容积需 28.3m³。结合现场生产实际情况,新建 1 套 Φ2400×10300 的压力缓冲罐,实际停留时间约 52.8min,可满足生产需要。

③外输泵。根据《油田油气集输设计规范》(GB 50350-2015)中4.3.5规定,经计算新建2台螺杆泵外输,排量 $65\text{m}^3/\text{h}$,出口压力 1.6MPa ,用电功率 $75\text{kW}/\text{台}$,1用1备。

3.3 采出水处理系统

3.3.1 改造思路

孤四联采出水处理采用重力沉降工艺,改造1座 3000m^3 油罐为采出水接收罐,增加采出水停留时间。

3.3.2 改造方案

①设计水质指标及规模。根据Q/SH 1020 1860-2020,孤四联采出水区域油藏渗透率 $1.76 \sim 3.45 \mu\text{m}^2$,结合辖区油藏开发需求,确定孤四采出水站水质指标为V1水质标准(含油 $\leq 50\text{mg}/\text{L}$,悬浮物 $\leq 30\text{mg}/\text{L}$,粒径中值 $\leq 5 \mu\text{m}$)。本次设计规模 $2.2 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$,设计计算水量 $1000\text{m}^3/\text{h}$ 。

②改造方案。a.工艺流程。改造1座 3000m^3 油罐为采出水接收罐,用于接收油系统来水。针对SRB菌超标的问题,孤四联水处理流程委托胜利化工进行加药,根据水质调整加药量,保证SRB菌达标。b.一次除油罐改造。需要对一次除油罐收油流程进行改造,降低一次除油罐收油槽高度,工程费用单座罐约9万元,适用于运行液位平稳的情况,根据现场实际液位高度调整后进行收油。清罐对管内收油槽进行高度改造,在罐内搭建脚手架。

3.4 总平面布置

原油处理工艺装置区由站场西北侧调整到西南侧后,节约西北侧土地 14300m^2 ,同时临近原油罐区,配套工艺设备间流程管线较短且流程较为合理。改造后孤四联总平面布置见图1。



图1 改造后孤四联总平面布置图

4 改造后效益分析

①能耗分析。a.油气处理系统。加热炉由改造前4座优化后0座,改造后用气量由 $105.3 \times 10^4\text{m}^3/\text{a}$ 减少为0。换热器由改造前7座优化后1座,改造后用热量由 $16303.5\text{GJ}/\text{a}$ 减少为 $578.9\text{GJ}/\text{a}$ 。脱水泵

由改造前2台优化后0台,外输泵由改造前2台优化后0台,大罐抽气1系统由改造前1套优化后0套,3个设备改造后用电量由 $52.3 \times 10^4\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 增加为 $54.1 \times 10^4\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 。b.采出水处理系统。调水泵由改造前后2台不变,用电量 $13.1 \times 10^4\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 保持不变。污水外输泵由改造前后4台不变,用电量 $48.6 \times 10^4\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 保持不变。注聚外输泵由改造前后3台不变,用电量 $16.2 \times 10^4\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 保持不变。c.其他部分。办公区域用电由改造前后 $98.4 \times 10^4\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 保持不变。

②劳动定员。改造优化简化后,用工人数情况由54人调整到16人,人员优化70.37%。

③效益分析。优化简化改造后集输系统每年节省运行成本782.9万元,效益提升45.17%。其中工艺区域占地由改造前103.7亩优化为改造后77.9亩;总用电量由改造前 $228.6 \times 10^4\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 优化为改造后 $230.4 \times 10^4\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$,改造后年运行费用增加1.3万元;总用气量由改造前 $105.3 \times 10^4\text{m}^3/\text{a}$ 优化为改造后0,年运行费用减少189.5万元;总用热量由改造前 $16303.5\text{GJ}/\text{a}$ 优化为改造后 $578.9\text{GJ}/\text{a}$,年运行费用减少138.7万元;总药剂量由改造前后保持不变;站内用工人员由改造前54人优化为改造后16人,年运行费用减少456万元。

5 结束语

针对孤四联油气处理系统存在的工艺流程冗长、能耗高、设备老化等问题,提出了“高效分水设备+压力缓冲罐+外输”的优化改造方案,显著缩短了处理流程,降低了脱水温度,减少了热能损失。改造后,系统综合能耗降低86.27%,年减少天然气消耗 $105.3 \times 10^4\text{m}^3$ 、外购热能 15724.6GJ ,碳排放减少 $2312.83\text{t CO}_2\text{e}$,节能降碳效果显著。同时优化站内布局后,节约用地21.45亩,减少运行人员38人,人员优化70.37%,年运行费用降低782.9万元,经济效益提升45.17%。此外,配套升级的采出水处理系统有效解决了水质波动问题,确保出水含油量稳定达标。本项目成功实施后,不仅提升了孤四联的生产运行效率,也为类似老油田的改造提供了可借鉴的技术方案,推动油田绿色低碳发展,实现经济效益与环境效益的双赢。

参考文献:

- [1] 丁艺. 高压/高频脉冲交流电场中W/O型乳化液的静电聚结特性研究[J]. 高校化学工程学报, 2011,25(5):775-780.
- [2] 陈家庆,常俊英,王晓轩等. 原油脱水用紧凑型静电预聚结技术[J]. 石油机械, 2008,36(12):75-80.