

炼厂原油掺炼清罐油存在的问题及思考

李治明¹, 陈贤德¹, 荣荣¹, 侯宝珍¹, 秦梓喻^{2*}

(1. 中国石化海南炼油化工有限公司, 海南 儋州 578101;
2. 海南大学海南省精细化工工程技术研究中心, 海南 海口 570228)

摘要:针对炼厂回炼清罐油时常见电脱盐罐电流波动的问题,对清罐油预处理、一级电脱盐罐运行状况实地考察并进行了优化调整。结果表明,阻止原油形成稳定的乳状液是核心问题,在清罐油净化过程中不加聚合氯化铝和聚丙烯酰胺这类絮凝剂,避免与原油形成稳定乳状液;控制脱前原油铁含量在0~5 mg/kg,抑制铁离子增加原油乳状液的稳定性和电导率;提前将破乳剂的注入量提至10~15 g/t;日检电脱盐罐乳化层情况并及时排尽。通过以上措施,常减压装置持续回炼清罐油139 d,一级电脱盐罐电流未出现波动,含盐污水环保排放指标合格。

关键词:常减压;清罐油;原油;掺炼;电流

中图分类号:X742

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2024)04-0209-07

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.04.039

Existing problems and considerations of blending crude oil with tank-cleaning oil in refinery

LI Zhi-ming¹, CHEN Xian-de¹, RONG Rong¹, HOU Bao-zhen¹, QIN Zi-yu^{2*}

(1. Sinopec Hainan Refining & Chemical Co., Ltd., Danzhou 578101, China;

2. Hainan Provincial Fine Chemical Engineering Research Center, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: Electric current fluctuation often occurs at the electric desalting tank in a refinery when the tank-cleaning oil is blended with crude oil as feedings. In order to solve this problem, the pretreatment of tank-cleaning oil and the operation status of primary electric desalting tank are investigated on the spot and optimized. It is indicated that preventing crude oil from forming a stable emulsion is the core solution. Therefore, some measurements are taken as follows. Flocculants such as polyaluminum chloride and polyacrylamide are not added again in the purification process of tank-cleaning oil to prevent them from forming more stable emulsion with crude oil. The iron content of crude oil before stripping is controlled in the range of 0 to 5 mg·kg⁻¹ to prevent iron ions from increasing the stability and conductivity of crude oil emulsion. The injection amount of demulsifier is controlled in the range of 10–15 g·t⁻¹ in advance. The emulsification layer at the electric desalting tank is drained on time. Through implementing these measures, the atmospheric-vacuum distillation unit has refined continuously tank-cleaning oil for 139 days while the electric current at the primary electric desalination tank has remains stably, and the discharge index of salt-containing sewage meets the standard.

Key words: atmospheric-vacuum distillation; tank-cleaning oil; crude oil; blending; electric current

清罐油产生于储油罐机械清洗过程中,油泥中含有机械杂质、砂砾、泥土、重金属盐类,主要组成为石蜡、胶质、沥青质等重油组分,黏性强、成分复杂、含水率高,乳化现象严重^[1]。随着国家对环保重视程度不断加强,清罐油外委危险废弃物处理技术难度不断加大,处理费用不断提高,清罐油掺炼成为了炼油企业的新方向。原油掺炼是石油炼制中一个重要的过程,通过将不同种类的油品按一定比例混合,在加工过程中获得更好的炼油效果和产品质量,掺炼对炼油企业的经济效益、技术水平和市场竞争力都具有非常重要的影响^[2]。某炼厂对清罐油采用SOTU污油处理技术进行预处理,分离净化后再送至常减压装置进行回炼,2022年5月炼厂第五周期

投产以来,多次掺炼清罐油进常减压装置,掺炼期间一级电脱盐罐油水界面形成乳化层多,乳化现象严重,一级电脱盐罐电流波动幅度大。为此,常减压车间在掺炼清罐油期间,对一级电脱盐罐运行状况进行优化调整,为掺炼清罐油提供有效途径。

1 电脱盐工艺流程及机理

电脱盐工艺是炼厂原油加工的第一道预处理工序,常减压装置采用三级电脱盐工艺流程(如图1所示)。电脱盐罐设计采用交直流电脱盐工艺技术,电脱盐是通过在原油中注水,使原油中的盐分溶于水中;再注入破乳剂,破坏油水界面和油中固体盐颗粒表面的吸附膜;然后借助高压电场的作用,使水

收稿日期:2023-06-10;修回日期:2024-02-01

基金项目:海南省自然科学基金项目(522RC612)

作者简介:李治明(1993-),男,硕士,工程师,从事炼油化工工作,1130093363@qq.com;秦梓喻(1991-),男,博士,讲师,研究方向为精细化工、石油化工,通讯联系人,ziyuqin@hainanu.edu.cn。

滴感应极化而带电,通过高压电场的作用,带不同电荷的水滴互相吸引融成较大水滴,借助油水比重差使油水分层^[3]。水滴沉降速度如公式(1),油中的盐随水一起脱去,脱后原油含盐量 ≥ 3.0 mg/L,减轻了氯离子对装置设备的腐蚀性,为下游装置提供金属离子含量合格的原料^[4]。

$$\mu = (d^2 \times \Delta r \times g) / (18 \times r \times \rho_{\text{油}}) \quad (1)$$

式中, d 为水滴直径,mm; Δr 为油水比重差; r 为原油黏度, mm^2/s ; g 为重力加速度, m/s^2 。

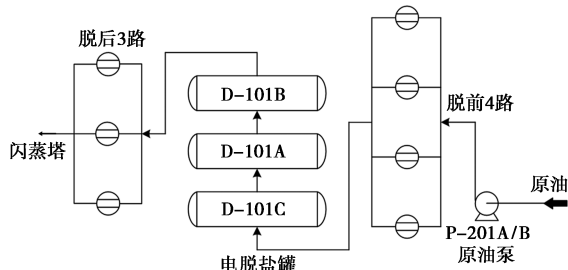


图 1 电脱盐工艺流程

2 清罐原油净化工业试验项目基本情况

SOTU 污油处理技术 (slop oil treatment unit) 如图 2 所示,主要包括预处理、一级分离、二级分离等工艺流程,需采用的主要设备为卧螺离心机用于液固分离,碟式离心机用于油水分离。离心机的主要原理是根据混合物各组分密度差异,在离心力与重

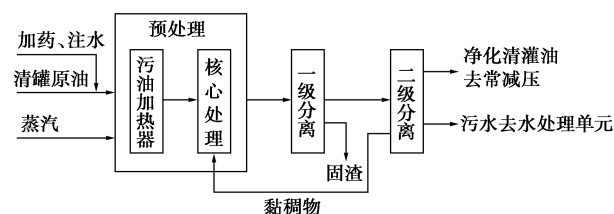


图 2 SOTU 技术工艺流程

力的作用下,分离乳浊液(或悬浊液)中不同密度的组分^[5]。

清灌油预处理过程中加药分别为聚合氯化铝(PAC)、聚丙烯酰胺(PAM),PAC是一种介于氯化铝(AlCl_3)和氢氧化铝($\text{Al}(\text{OH})_3$)之间的水溶性无机高分子聚合物,化学通式为 $[\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$ 。PAC是油泥、污泥和废水处理中的高效絮凝剂,广泛应用于悬浮物、有机物、金属离子、磷酸盐和色度等物质去除^[6],与其他无机调理剂相比,PAC调理剂具有对温度和pH不敏感等优点^[7]。PAM是一种线型高分子聚合物,化学式为 $(\text{C}_3\text{H}_5\text{NO})_n$,具有良好的水溶性,PAM溶于水后部分水解而含有羧基,羧基可与某些金属交联剂交联形成配位键,进而在油田钻井、压裂、驱油、调流、堵水等方面发挥重要作用^[8]。

3 掺炼清罐油存在的问题及分析

原油掺炼清灌油自2022年8月6日开始,根据一级电脱盐运行情况间断进行掺炼,掺炼期间加强对装置运行情况和污水排放的监测,保证装置运行平稳及污水排放不超标,电脱盐含盐污水工艺指标 $\text{COD} \leq 600$ mg/L、氨氮 ≤ 30 mg/L、pH 6~9、油含量 ≤ 200 mg/L。

3.1 第一次掺炼清罐油

3.1.1 一级电脱盐罐运行情况

2022年8月6—13日原油加工量和比例、一级电脱盐脱水情况如表1所示,期间掺炼清罐油99 t,6日掺炼清罐油3 t/h,7—10日掺炼1 t/h。如图3所示,一级电脱盐罐电流至10日白天均较为稳定,10日停炼后上涨,最高升至20 A左右,采取相应的措施后,13日电流逐渐恢复平稳,本次电流波动期间含盐污水排水各指标正常。

表 1 原油加工总量/比例、含盐污水环保指标排放情况(2022年8月6—13日)

日期	原油加工总量/比例		含盐污水			
	原油加工量/($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$)	原油比例/($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$)	pH	氨氮/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	COD/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	油含量/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
08-06	1000	阿曼 570、南巴 350、CPC 混合 100	7.5	8.42	256	16.02
08-07	1000	阿曼 500、萨图诺 70、南巴 350、CPC 混合 100				4.72
08-08	1000	阿曼 500、萨图诺 70、南巴 350、CPC 混合 100	7.6	11.60	288	11.86
08-09	980	阿曼 470、萨图诺 70、CPC 混合 120、帕兰卡 420				12.57
08-10	980	阿曼 470、萨图诺 70、CPC 混合 120、帕兰卡 420	7.3	9.92	343	14.73
08-11	920	阿曼 450、萨图诺 70、CPC 混合 100、帕兰卡 300				20.44
08-12	860	阿曼 480、萨图诺 70、CPC 混合 80、帕兰卡 230	7.5	1.27	416	13.95
08-13	860	阿曼 480、萨图诺 70、CPC 混合 80、帕兰卡 230				0.38

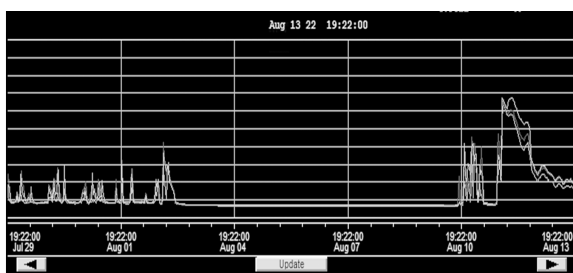


图3 掺炼清罐油期间一级电脱盐罐 DCS 电流趋势(2022 年 8 月 6—10 日)

3.1.2 应对措施

8 月 10—13 日一级电脱盐罐电流波动期间,采取的措施有:一级电脱盐罐混合压差由 48 kPa 降至 31 kPa,一级电脱盐罐界位由 42%降至 35%,一级电脱盐罐变压器电压由 13 kV 提至 19 kV,一级电脱盐罐持续排乳化层,破乳剂注入量由 6.8 g/t 提至 8.5 g/t。

3.1.3 原因分析

(1)常减压装置铁含量分布如图 4 所示,脱前原油铁含量基本都小于脱后原油铁含量,是由于脱前原油在进入换热网络后,对换热网络的管线和相关换热器管束造成冲刷,少部分铁锈渣会进入到油品中,造成脱后原油铁含量高于脱前原油铁含量。本次掺炼清罐油期间,化验分析脱前原油铁离子含量 3.1 mg/kg,脱后原油铁含量 4.3 mg/kg,与常减压装置平均铁含量分布一致,可以消除原油铁离子含量对电脱盐罐电流的影响。

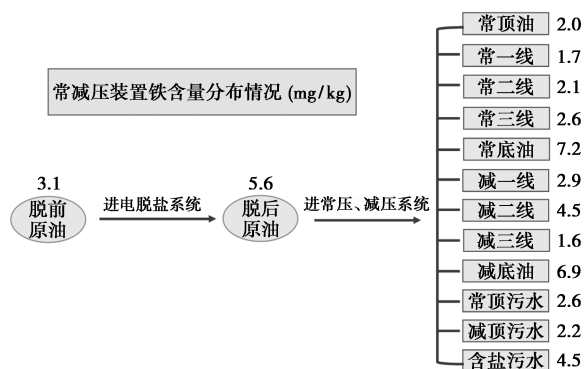


图4 常减压装置铁含量分布

(2)一级电脱盐罐运行的主要关键参数和原油水分如表 2 所示,脱前原油水分(工艺指标 $\leq 0.5\%$)、电脱盐罐界位(工艺指标 10%~60%)、混合压差(工艺指标 20~150 kPa)均在工艺指标控制范围内,可以消除原油带水、电脱盐界位及混合压差控制对电流的影响。

表 2 一级电脱盐罐关键参数和原油带水情况 (2022 年 8 月 6—13 日)

日期	一级电脱盐罐				脱前原油水分/%
	混合压差/ kPa	入口温度/ ℃	罐顶压力/ MPa	界位/ %	
08-06	48.00	130.48	1.30	42.00	0.11
08-07	48.00	130.05	1.29	42.92	0.07
08-08	48.00	130.10	1.31	42.74	0.09
08-09	48.00	130.26	1.28	42.22	0.29
08-10	32.00	129.38	1.22	31.71	0.28
08-11	32.00	131.16	1.23	31.51	0.05
08-12	32.00	132.58	1.24	36.74	0.22
08-13	48.00	131.98	1.20	43.91	0.11

(3)掺炼清罐油期间,清罐油组分复杂,虽然经过 SOTU 预处理,但仍存在引起原油乳化的物质,且乳化作用很强,使用的广东粤首 YS-1185 型油溶性破乳剂破乳作用有限,并且破乳剂注量小,在电脱盐罐内易形成乳化层,引起电流波动^[9]。

(4)本次原油加工量和比例调整频繁,清罐油预处理中加入的 PAC 和 PAM 2 种絮凝剂性质与电脱盐破乳剂相反,可能会与混炼的部分原油形成较为稳定的乳状液,加剧原油的乳化,使破乳剂作用效果减弱,加之原油本身含有天然的乳化液,二者共同作用导致电脱盐罐破乳困难。

3.2 第二次掺炼清罐油

3.2.1 一级电脱盐罐运行情况

2022 年 9 月 23 日 8 时 30 分开始掺炼清罐油 3 t/h,为消除原油加工量和比例的影响,原油加工量和比例未作调整,原油加工量 1 000 t/h,比例:阿曼 430 t/h、马希 180 t/h、凯撒杰 150 t/h、CPC 120 t/h、萨图诺 120 t/h。如图 5 所示,9 月 23 日 11 时 05 分一级电脱盐罐电流由 3 A 缓慢涨至 4 A 后平稳,19 时 40 分停炼清罐油。9 月 24 日 10 时继续带炼清罐油 3 t/h,一级电脱盐罐电流出现缓慢上升趋势,16 时 05 分一级电脱盐罐电流涨至最高值

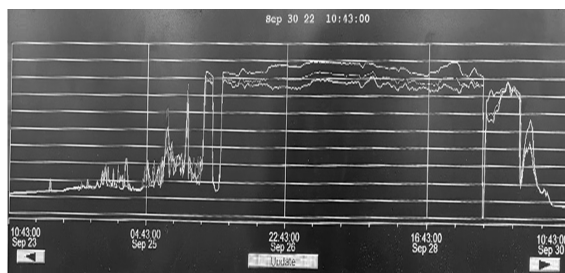


图5 一级电脱盐罐 DCS 电流趋势 (9 月 23—24 日)

10 A 左右,16 时 20 分停炼清罐油。9 月 25 日,未掺炼清罐油,但电流出现缓慢上升趋势,最高达 26 A 左右,经过调整后,29 日 19 点 30 分左右电流由 22 A 开始下降,30 日 8 时降至 2 A 左右,恢复正常值,电流波动期间含盐污水排水各指标均合格,COD 431 mg/L、氨氮 13.8 mg/L、pH 6.4、油含量 10.16~24.97 mg/L。

3.2.2 应对措施

发现电流波动,立即停炼清罐油;将电脱盐破乳剂注入量于 9 月 24 日由 5 g/t 提至 10 g/t,25 日继续提至 13 g/t;一级电脱盐罐界位由 42%降至 35%;一级电脱盐罐混合压差由 70 kPa 降至 32 kPa;查找一级电脱盐罐内原油乳化层,打开专门排乳化层 DN50 的专线排乳化层,排至重污油罐;一级电脱盐罐档位由 3 挡(19 kV)降至 5 挡(13 kV)。

3.2.3 原因分析

(1)如表 3 所示,一级电脱盐罐运行的主要关键参数和原油水分均在工艺指标控制范围内,原油水分、电脱盐界位及混合压差对电流未产生影响。

表 3 一级电脱盐罐关键参数和原油带水情况
(2023.9.23—29)

日期	一级电脱盐罐				脱前原
	混合压差/ kPa	入口温度/ ℃	罐顶压力/ MPa	界位/ %	油水分/ %
9-20	70.00	130.48	1.30	40.00	0.11
9-21	70.00	130.05	1.29	39.92	0.07
9-22	70.00	130.10	1.31	42.74	0.04
9-23	32.00	130.26	1.28	40.22	0.03
9-24	32.00	129.38	1.22	35.71	0.16
9-25	32.00	131.16	1.23	35.51	0.10
9-26	32.00	132.58	1.24	42.74	0.19
9-27	32.00	131.98	1.20	43.91	0.03
9-28	32.00	129.46	1.23	44.36	0.07
9-29	32.00	128.88	1.23	44.85	0.23

(2)9 月 23 日原油比例由阿曼 470 t/h、帕兰卡 320 t/h、萨图洛 70 t/h、CPC 120 t/h 调整为阿曼 430 t/h、凯撒杰 150 t/h、萨图诺 120 t/h、CPC 120 t/h、马希拉 180 t/h,10 月 7 日停练凯撒杰原油,凯撒杰原油铁含量为 8.8 mg/kg,化验分析脱前原油铁离子含量 3.3 mg/kg,脱后原油铁含量 3.7 mg/kg,加工原油铁离子含量未对电脱盐罐电流造成影响。

(3)掺炼清罐油期间,破乳剂破乳作用有限,破乳剂注量小,在电脱盐罐内易形成乳化层,引起电流波动,后续在掺炼清罐油时提高破乳剂的注入量。

(4)掺炼清罐油期间,原油加工量和比例未做

调整,一级电脱盐罐电流也偏高,说明掺炼清罐油期间原油加工量和比例调整对电流并没有贡献。此次电流偏高,进一步证实了 PAC 和 PAM 仍与原油形成较为稳定的乳状液,使破乳剂作用效果减弱,导致电脱盐罐乳化现象严重。

3.3 第三次掺炼清罐油

3.3.1 一级电脱盐罐运行情况

本次掺炼清罐油时间为 2022 年 10 月 9 日—12 月 11 日,累计掺炼量约 5 019 t,10 月 9 日—11 月 7 日掺炼清罐油污约 3 t/h,11 月 8 日清罐油提至 4~5 t/h。清罐油净化过程没有添加 PAC 和 PAM,掺炼初期将破乳剂注入量由正常的 5 g/t 左右提至 15~20 g/t,11 月 10 日—12 月 7 日根据电流稳定情况,将破乳剂注入量降至 10~15 g/t。掺炼清罐油期间,原油加工量和原油比例调整比较频繁,原油加工量如图 6,混炼原油种类为阿曼、CPC、图皮、穆尔、萨西、梅罗、埃斯坡、WTI、凯撒杰、乌姆鲁卢、南巴。

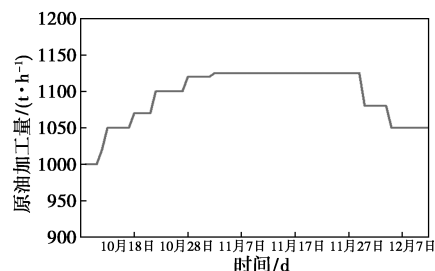


图 6 原油加工量趋势图

如图 7(a)所示,10 月 22 日 19 时 57 分一级电脱盐罐电流涨至最高值 23.55 A 左右,经排查破乳剂泵不上量,将注破乳剂泵 106-P-609 切至备用泵,电流恢复正常。如图 7(b)所示,10 月 23 日 12 时 37 分涨至最高值 8.14 A 左右,经排查破乳剂备用泵不上量,后切至已检修好的泵 106-P-609 运行,电流恢复正常。如图 7(c)所示,后期加强对注破乳剂泵 106-P-609 运行情况的检查,破乳剂注入量平稳,一级电脱盐罐电流未出现波动。如图 7(d)所示,12 月 7 日 9 时开始原油比例由阿曼 530 t/h、图皮 230 t/h、乌姆鲁卢 290 t/h 逐步调整为阿曼 520 t/h、凯撒杰 220 t/h、乌姆鲁卢 310 t/h。12 月 9 日 7 时开始,一级电脱盐罐电流由 2 A 开始升高至 20 A 左右,11 点停止掺炼清罐油,经过调整后电流有所下降,后降低凯撒杰原油混炼比例后,电流逐渐恢复正常。电流波动期间含盐污水排水各指标为 COD 443 mg/L、氨氮 27.013 mg/L、pH 6.4、油含量 35.46~46.9 mg/L,未出现超标排放。

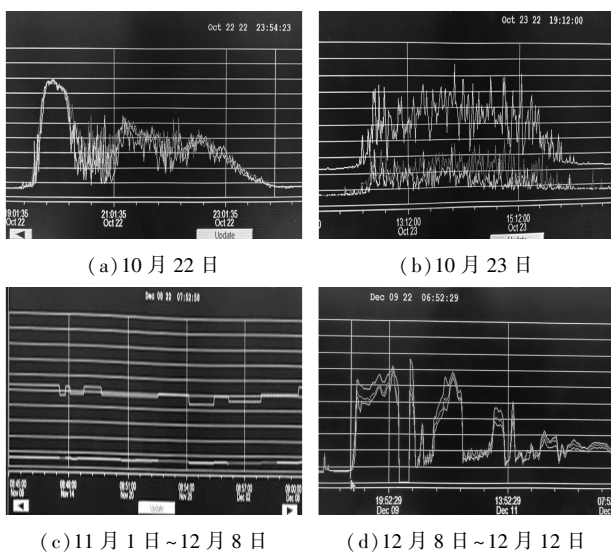


图7 一级电脱盐罐 DCS 电流趋势

3.3.2 应对措施

(1) 10月22日和10月23日一级电脱盐罐电流波动,处理好注破乳剂泵故障并进行了排乳化层操作后,电流开始缓慢下降恢复至正常值,掺炼清罐油期间每天都对乳化情况进行检查。

(2) 12月9日早上一级电脱盐罐电流开始上升后,将破乳剂注入量由10 g/t提至20 g/t左右;混合压差由60 kPa逐步降至40 kPa;检查一级电脱盐罐有部分乳化层,并不断调整电脱盐罐界位来排乳化层;降低凯撒杰原油混炼比。

3.3.3 原因分析

(1) 如图8所示,掺炼清罐油期间,一级电脱盐罐混合压差、入口温度、罐顶压力和界位均在工艺指标范围内,运行平稳,未出现大幅波动情况。10月22日和10月23日分别出现一级电脱盐罐电流波

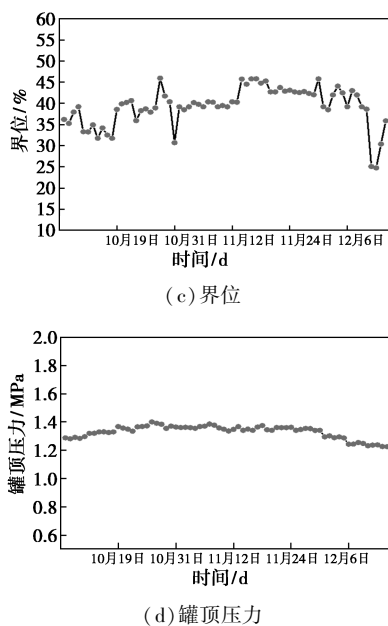
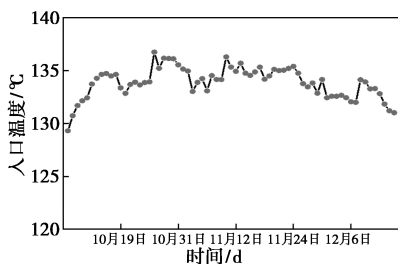
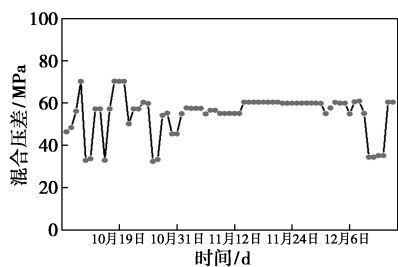


图8 一级电脱盐罐关键参数

动,原因均是破乳剂泵不上量,原油破乳化效果变差、乳化层积攒变厚所致。

(2) 12月9日一级电脱盐罐电流波动,原因分析:①一级电脱盐罐界位控制工艺指标范围内,现场检查界位没有超高情况,降低界位后电流有下降,但仍未恢复至正常值2 A,可排除一级电脱盐罐界位控制过高而导致电流持续高的因素。②一级电脱盐罐电流波动期间,如图9(a)所示,原油化验分析水含量数据无异常,可排除原油中水含量过高而影响电脱盐电流高的因素。③一级电脱盐罐电流波动之前和波动期间,破乳剂泵上量情况正常,破乳剂注入量正常,破乳剂型号未发生改变,均是广东粤首YS-1185型号破乳剂,可排除破乳剂影响电脱盐电流高的因素。④12月11日后一级电脱盐罐未再发现乳化现象,但电流仍未能恢复至正常值,此次电流趋势图7(d)与有乳化层的电流趋势图5不符,电脱盐罐有乳化层电流应是持续超高的现象,可排除由于乳化层导致电流偏高的因素。⑤如图9(b)所示,掺炼清罐油过程中,脱后原油盐含量未出现不合格情况,但如图9(c)所示,10月9日—12月5日脱前原油铁含量均值2.5 mg/kg,脱后原油铁含量均值4.2 mg/L,12月7日原油经过调整,混炼凯撒杰220 t/h,凯撒杰原油铁含量为8.8 mg/kg,化验分析12月11日脱前原油铁含量13 mg/kg,脱后原油铁含量11.3 mg/kg,由于凯撒杰原油混炼比例高,原油中铁离子浓度增加,铁离子进一步增加提高了原油乳状液的稳定性和电导率,使得乳状液破乳脱水



困难,且一级电脱盐罐脱水过程中电流出现峰值的时间延长^[10]。

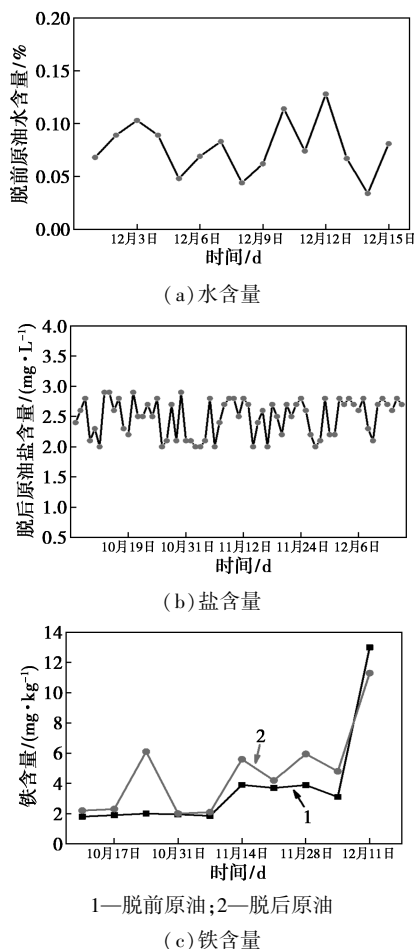


图 9 原油水、盐、铁含量趋势图

4 掺炼清罐油效果

2022 年 12 月 11 日电流平稳后,2022 年 12 月 13 日—2023 年 4 月 30 日掺炼清灌油,累计掺炼清灌油 139 d,掺炼情况如图 10(a),加工清罐油共计 8 634 t,一级电脱盐罐电流未出现波动,电流基本维持在 3 A 以下,电流趋势如图 10(b)所示。运行期间:①每天检查一级电脱盐罐乳化层情况,发现乳化层及时排尽。②每周调整一级电脱盐罐界位来查找乳化层,同时在不影响电脱盐电流的前提下,将一级电脱盐罐油水界面控制在 40%,便于利用电脱盐排乳化层专线排乳化层。③加强监测破乳剂泵的运行情况,保持破乳剂正常注入,并根据运行情况调整破乳剂用量,如图 10(c),2022 年 12 月—2023 年 4 月破乳剂用量呈下降趋势。④在清罐油净化过程中继续不加 PAC 和 PAM 絮凝剂。⑤炼油时严格控制脱前原油铁含量不大于 5 mg/kg,尤其对于铁含量高的原油,降低加工比例。

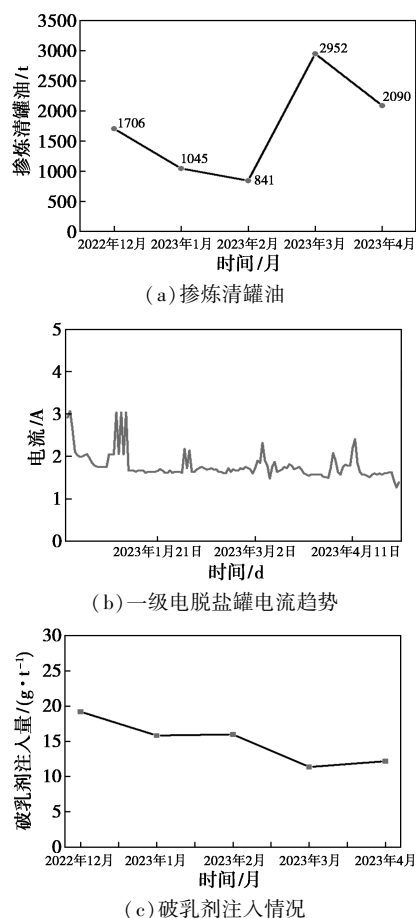
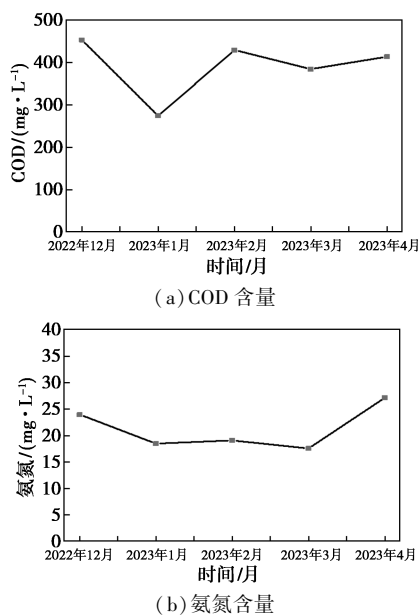


图 10 清罐油、电流、破乳剂用量趋势图

掺炼清罐油期间,操作人员加强对含盐污水的监控,每次巡检核对一次电脱盐罐界位,观察电脱盐罐含盐污水排水颜色。如图 11 所示,含盐污水 COD 含量 ≤ 452.83 mg/L、氨氮 ≤ 27.15 mg/L、pH 6.43~7.15、油含量 ≤ 46.46 mg/L,排放指标均在环保指标范围内,未发生超标排放的情况。



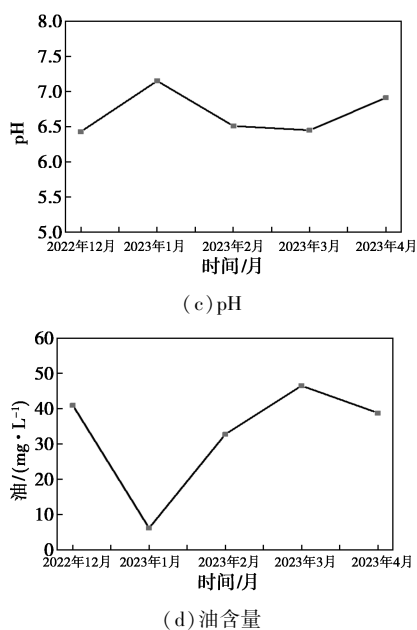


图 11 含盐污水指标排放情况

5 结论

炼厂第五周期投产以来,对清罐油进行回炼至常减压装置,掺炼期间一级电脱盐罐电流波动幅度大,为促进清灌油的回炼,对清罐油预处理、电脱盐罐运行情况进行了优化调整,结论如下。

(1) 掺炼清罐油期间,若发现电脱盐罐电流上涨,可采用停炼清罐油、提高破乳剂注入量、降低电脱盐罐界位、降低电脱盐罐混合压差、降低电脱盐变压器档位、排乳化层等方式来降低电脱盐罐电流,确保装置平稳运行。

(2) 经过优化调整,提前增加破乳剂的注入量,注入量控制在 10~15 g/t,并加强监测破乳剂泵的运行情况;每天检查一级电脱盐罐乳化层情况,发现乳化层及时排尽;清罐油净化过程中不加 PAC 和 PAM 等絮凝剂;控制脱前原油铁含量 ≤ 5 mg/kg。采用以上措施,常减压装置持续回炼清灌油 139 d,一级电脱盐罐电流未出现波动。

参考文献

- [1] 王昌涵.清罐污水多相分离处理技术研究[D].北京:中国石油大学,2019.
- [2] 李少萍,沈本贤,张琪,等.原油掺炼对混合原油、馏分油及渣油性质的影响[J].华东理工大学学报:自然科学版,2006,32(5):524-529,567.
- [3] 舒秀萍.原油蒸馏装置改造中电脱盐工艺技术的优化及新型缓蚀剂的应用[J].炼油技术与工程,2003,(12):12-14.
- [4] 陈明燕,刘政,聂崇斌,等.重质原油电脱盐影响因素分析及操作条件优化研究[J].石油与天然气化工,2011,40(6):578-580.
- [5] 王玉江,崔景亭.DRY-500 碟片式离心机的原油脱水试验[J].石油机械,1996,24(10):52-55,65.
- [6] 高红莉,赵风兰,王钰涵,等.聚合氯化铝工业废渣生产硅肥实验研究[J].矿产综合利用,2022,(5):15-19.
- [7] 曹秀芹,刘超磊,朱开金,等.碱度对聚合氯化铝调泥脱水和流变的影响[J].环境工程学报,2022,16(10):3410-3416.
- [8] 康传宏,周久娜,郭继香.超高分子量聚丙烯酰胺的合成方法综述[J].应用化工,2022,51(11):3310-3313.
- [9] 韩蕾,廖克俭,王洪国,等.油溶破乳剂在原油电脱盐脱水中的应用[J].当代化工,2014,43(3):348-349.
- [10] 陶俊,段明,方申文.铁离子对原油乳状液破乳脱水的影响[J].油田化学,2015,32(4):593-597.■
- [11] Diéguez P M, Ursúa A, Sanchis P, et al. Thermal performance of a commercial alkaline water electrolyzer: Experimental study and mathematical modeling[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2008, 33(24): 7338-7354.
- [12] 曹丽华,刘喜峰,司和勇.结构参数对储热罐动态特性的影响[J].中国电机工程学报,2021,41(9):3216-3223.
- [13] 李咸善,苏传华,鲁明芳.考虑充热动态特性的储热罐容积配置方法[J].热力发电,2023,52(2):46-53.
- [14] Chen Xinyu, Kang Chongqing, O'Malley Mark, et al. Increasing the flexibility of combined heat and power for wind power integration in China: Modeling and implications[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2014, 30(4): 1848-1857.
- [15] 张理,叶斌,尹晨旭,等.风电制氢经济性与发展前景分析[J].东北电力技术,2020,41(7):5-9,37.
- [16] 王明华.新能源电解水制氢技术经济性分析[J].现代化工,2023,43(5):1-5.
- [17] 张轩,王凯,樊昕晔,等.电解水制氢成本分析[J].现代化工,2021,41(12):7-11.
- [18] 王玉亭,张钟,张洪钧,等.基于电解水制氢和生物质电厂的电与甲醇联产系统[J].科技和产业,2022,22(5):288-294.■
- [19] 陈锦洲,林飞,何洪文,等.质子交换膜燃料电池/电解槽系统建模及负荷追踪策略[J].电工技术学报,2020,35(S2):636-643.
- [20] 江悦,沈小军,吕洪,等.碱性电解槽运行特性数字孪生模型构建及仿真[J].电工技术学报,2022,37(11):2897-2908.
- [21] Shen Xiaojun, Zhang Xiaoyun, Lie Tek Tjing, et al. Mathematical modeling and simulation for external electrothermal characteristics of an alkaline water electrolyzer[J]. International Journal of Energy Research, 2018, 42(12): 3899-3914.
- [22] 袁铁江,万志,王进君,等.考虑电解槽启停特性的制氢系统日前出力计划[J].中国电力,2022,55(1):101-109.
- [23] 李开坤,王勤辉,张瑞月,等.基于 Aspen Plus 的热解煤气制氢工艺模拟及分析[J].热力发电,2021,50(7):15-22.
- [24] Brauns Jorn, Turek Thomas. Alkaline water electrolysis powered by renewable energy: A review[J]. Processes, 2020, 8(2): 248.
- [25] Sanchez Monica, Amores Ernesto, Rodriguez Lourdes, et al. Semi-empirical model and experimental validation for the performance evaluation of a 15 kW alkaline water electrolyzer[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2018, 43(45): 20332-20345.

(上接第 208 页)