

高含汞凝析油脱汞现场试验

蒋洪^{1*}, 黄靖珊¹, 韩晓春², 杨铜林¹, 李浩玉¹

(1.西南石油大学石油与天然气工程学院, 四川 成都 610500;

2.中国石油塔里木油田分公司油气运销部, 新疆 库尔勒 841000)

摘要:对凝析油脱汞主要方法进行了分析与评价,根据某气田凝析油特点及处理要求,提出凝析油脱汞现场试验方案,即化学吸附、汽提、汽提-化学吸附组合工艺,并完成凝析油脱汞试验装置的开发及设计。现场试验及应用效果评价表明,高含汞凝析油经汽提-化学吸附工艺处理后,凝析油中单质汞含量低于10 $\mu\text{g}/\text{L}$,总汞含量低于100 $\mu\text{g}/\text{L}$,处理效果较其他2种工艺好且成本较低。针对高含汞凝析油可采用汽提-化学吸附工艺进行脱汞。

关键词:凝析油;汞;汽提;吸附;现场试验

中图分类号:TE646

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2021)09-0215-05

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2021.09.043

Field test of mercury removal from high mercury condensate

JIANG Hong^{1*}, HUANG Jing-shan¹, HAN Xiao-chun², YANG Tong-lin¹, LI Hao-yu¹

(1.Petroleum Engineering School, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;

2.Oil and Gas Transportation and Marketing Department, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla 841000, China)

Abstract:Main methods for mercury removal from condensate oil are analyzed and evaluated. Based on the characteristics and treatment requirements of condensate oil from a certain gas field, a field test scheme for mercury removal from condensate oil is proposed, that is, a combined process including chemical adsorption, gas stripping, and gas stripping-chemical adsorption. The development and design of condensate mercury-removing test equipment is completed. Field test and application effect evaluation show that after high mercury-containing condensate is processed by the test device with gas stripping-chemical adsorption process, elemental mercury content in the condensate is less than 10 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, and total mercury content is less than 100 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. The treatment effect is better than the other two processes and the cost is also lower. The gas stripping-chemical adsorption process can be applied to remove mercury from high mercury-containing condensate oil.

Key words:condensate; mercury; gas stripping; adsorption; field test

汞是常温常压下唯一呈液态的金属,具有高毒性、强挥发性以及高度的生物富集性。美国环保署对凝析油中的汞含量在2.8~27.5 mg/kg的汞形态进行分析,认为凝析油中有溶解态的汞(单质汞、有机汞、无机汞、汞化物)和非溶解态的汞(汞悬浮物、吸附在固体颗粒上的汞)。凝析油中的汞可能引起设备腐蚀相关的安全事故、加工过程中汞致使催化剂中毒、危害操作人员身体健康、污染环境以及降低凝析油产品质量等问题^[1],给凝析油生产带来重大的安全事故以及经济损失,凝析油脱汞处理已成为各含汞气田亟待解决的技术问题。国内尚未开发高含汞凝析气田脱汞处理装置,有必要开展高含凝析油脱汞现场处理试验,为下一步开展工业化装置提供设计依据。因此,笔者开发及设计出凝析油脱汞现场试验装置,分别评价汽提、化学吸附、汽提-化学吸附3种工艺方案的脱汞效果,揭示针对高含汞凝析油的脱汞工艺技术。

1 凝析油脱汞主要工艺

目前常用凝析油脱汞工艺技术主要有化学吸附、化学沉淀、汽提脱汞、膜分离技术以及纳米材料吸附等^[2]。

(1) 化学吸附工艺

化学吸附工艺用于液相汞的脱除起源于20世纪80年代,利用负载于多孔材料上的活性物质与汞及其化合物之间发生化学反应,生成的汞产物附着于多孔材料表面达到脱汞的目的,具有脱汞效率高、技术成熟、工艺简单等特点^[3]。早在1978年,英国庄信万丰公司 Sugier 等^[4]首次提出利用固体吸附床技术脱除凝析油中汞,脱汞剂具有巨大的比表面积,增加了汞与活性物质的接触面积,适用于大规模工业应用。随后,日本太极油(Taiyo Oil)、日本日挥(JGC)、美国埃克深美孚化工(Mobil Oil)、UOP和Axens等公司开始研究凝析油脱汞剂,开发了多种

收稿日期:2020-10-17;修回日期:2021-07-04

作者简介:蒋洪(1965-),男,硕士,教授,研究方向为天然气集输与处理,通讯联系人,jihos@163.com。

类型的脱汞剂并逐渐应用于工业。

(2) 化学沉淀工艺

化学沉淀工艺是向液烃中加入多硫化物,使凝析油或原油中溶解的汞及汞化物转换成不溶于液烃或水的汞悬浮物,再利用固液分离技术(如旋流离心分离器、硅藻岩筒式过滤器)或物理吸附技术(如活性炭、硅藻岩)脱除汞悬浮物,从而达到从液烃中脱汞的目的^[5]。美国油联(Union Oil)公司 Frankiewicz 等^[6]于 2004 年先利用机械过滤技术脱除胶质汞和汞悬浮物,再利用硫化物(溶液或固体形式)脱除溶解形式的汞,最后采用硅藻岩取代活性炭吸附剂脱除硫化汞悬浮物。2006 年, Petrobras Argentina 公司根据这一工艺对阿根廷南部原油设计脱汞工艺,硫化物采用硫醇,能将原油中汞含量从 2 000 $\mu\text{g}/\text{L}$ 降低至 80 $\mu\text{g}/\text{L}$ ^[7]。该工艺能脱除多种形态的高含汞液烃化合物,适用于汞含量高达 40~5 000 $\mu\text{g}/\text{L}$ 的液烃,但硫化物投加量高于理论值不易控制,容易造成二次污染。

(3) 汽提工艺

汽提工艺主要是利用气体介质(天然气、空气等)将液相脱汞转化为气相脱汞。美国埃克深美孚化工公司 Yan^[8]于 1990 年首次提出利用天然气、 H_2 及 N_2 等气体将液烃中汞转移至气体中,再脱除气体中汞,汽提气优先推荐采用天然气。日本石油勘探公司 Yamaguchi 等^[9]于 2009 年对 Yan 提出的汽提工艺进行改进,改进如下:塔顶部分汽提气经冷却器冷却后增压回流进入汽提塔顶部,控制塔顶温度低于 93 $^{\circ}\text{C}$,阻止汽提气带出更多的液烃轻质组分;塔底部分液烃经重沸器加热后回流进入汽提塔底部,控制塔底温度 120~150 $^{\circ}\text{C}$ 或者更高,保证脱汞效果。

表 2 凝析油基础数据

项目	检测值	测试方法	检测仪器
密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	0.7469	称重法	—
游离水含量/ 10^{-6}	10000~30000	—	卡式微量水分测定仪
运动黏度/($\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$)	1.2728(测试条件 40 $^{\circ}\text{C}$)	GB/T 265—88	YT265-03 石油产品运动黏度测定仪
闭口闪点(-20~100 $^{\circ}\text{C}$)	低于仪器测试范围	GB/T 5208—2008	YG-310 化工产品低温闪点测定仪
总汞/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	1000~1600	—	RA915+测汞仪
苯/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	48080.3	EPA 3550C—2007	气相色谱-质谱联用仪 GC-MS
甲苯/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	30713.8	EPA 8270E—2017	
乙苯/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	1267.0		

设计时要求凝析油脱汞指标中,单质汞含量低于 10 $\mu\text{g}/\text{L}$,总汞含量低于 100 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。根据 GB

美国康菲公司 Cross 等^[10]于 2011 年也研究利用天然气脱除原油中单质汞的方法。汽提工艺必须在高温下采用相对大量的汽提气进行,由于原油含有足量的轻质烃,它们随汞汽提,必须冷凝和回收这些烃以避免产品损失。此外,汽提气体必须处理和回收,都需要从中除去汽提出的汞。该工艺充分利用了气体脱汞的优势,避免液烃脱汞的缺点,主要适用于含单质汞的凝析油脱汞工艺,因此通常和化学吸附工艺联合使用。

综合以上分析,常用凝析油脱汞工艺对比见表 1。综合考虑各工艺优缺点,针对高含汞凝析油,分别采用汽提、化学吸附、汽提-化学吸附 3 种工艺方案进行装置设计及现场试验。

表 1 常用凝析油脱汞工艺

脱汞工艺	优点	缺点	适用场合
化学吸附	操作简单、工艺成熟;脱汞深度能达到 1 $\mu\text{g}/\text{L}$	凝析油进料要求高;处理汞含量很高的凝析油成本高	凝析油脱汞
化学沉淀	能处理高含汞凝析油;能脱单质汞、有机汞和离子汞	容易造成二次污染;硫化物耗量大	原油脱汞
汽提	综合利用气体脱汞优势,避免液烃脱汞的缺点	工艺复杂;轻质组分易流出	凝析油和原油脱汞

2 现场试验装置开发及设计

2.1 设计基础数据

凝析油处理规模 0.2 m^3/h ,凝析油进料汞含量小于 4 000 $\mu\text{g}/\text{L}$,基本测量数据见表 2,化学吸附脱汞剂采用负载型金属卤化物脱汞剂。

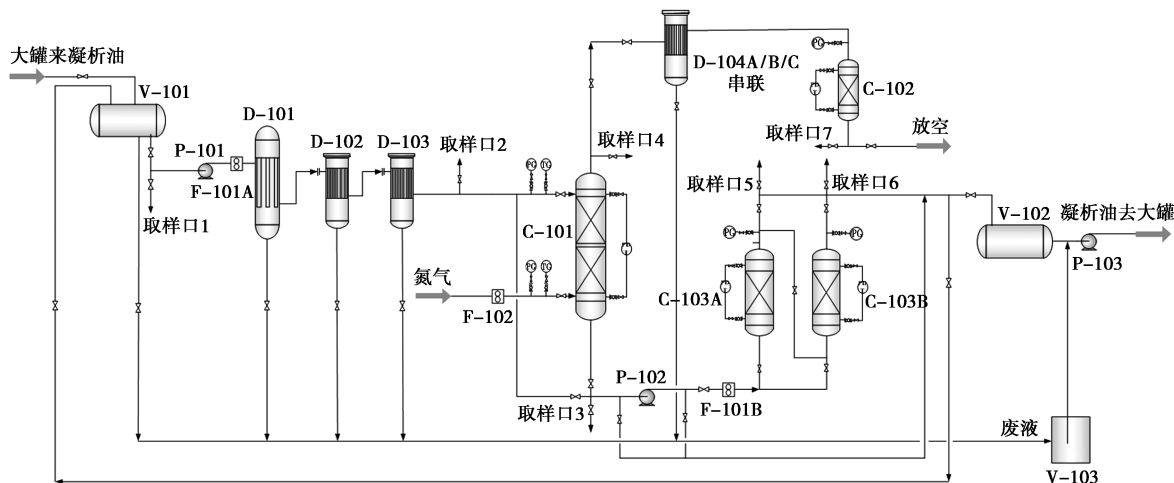
16297—1996《大气污染物综合排放标准》,汞及其化合物的最高允许排放浓度为 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

凝析油中游离水、气相和固体颗粒的存在会影响脱汞剂的使用性能。为保证凝析油脱汞剂吸附效果和使用寿命,凝析油预处理装置的技术指标:对直径 $10\ \mu\text{m}$ 以上的固体颗粒脱除效率达 99.9%;凝析油中游离水含量最大为 $10\ \text{mg/L}$;脱汞单元位于凝析油稳定单元后,确保进料凝析油完全为液相,不能含有任何气体。气液聚结器的技术指标:对直径

$0.3\ \mu\text{m}$ 以上的液滴脱除率达 99.9%;气体温度应高于其水露点 $5\ ^\circ\text{C}$ 以上,对工艺设备和管线采取保温措施;气相中游离水含量最大为 $10\ \mu\text{g/L}$ 。

2.2 试验装置工艺流程

按照模块化、撬装化的设计思路对试验装置进行设计,以安全运行为前提,确保脱汞装置安全、平稳运行。主要工艺流程见图 1。



V-101—原料油储罐;P-101—增压泵;D-101—粗过滤器;D-102—一级聚结器;D-103—二级聚结器;
F-101A/B—液相流量计;F-102—气相流量计;C-101—汽提塔;P-102—增压泵;D-104A/B/C—气液聚结器;
C-102—气相脱汞塔;C-103A/B—液相脱汞塔;V-102—脱汞油储罐;P-103—增压泵;V-103—排污罐

图 1 凝析油脱汞现场试验装置

(1) 汽提工艺试验

脱水脱烃装置来凝析油经原料油储罐 V-101 初步脱除泥沙和游离水,计量后泵送至过滤器 D-101 脱除固体颗粒,再依次进入一级聚结器 D-102 和二级聚结器 D-103 深度脱除游离水;脱除游离水和固体颗粒的凝析油从汽提塔 C-101 上部进入,不含汞氮气调压后从汽提塔 C-101 下部进入,凝析油与氮气在塔内逆向接触,凝析油中单质汞随气体流出。经汽提初步脱汞的凝析油增压后去凝析油储存罐;汽提塔后的氮气经气液聚结器 D-104A/B/C 脱除液相(液烃、游离水)后去气相脱汞塔 C-103,气相脱汞剂采用负载型金属硫化物,脱汞后气体放空。

(2) 化学吸附工艺试验

脱水脱烃装置来凝析油经原料油储罐 V-101 初步脱除泥沙和游离水,计量后泵送至过滤器 D-101 脱除固体颗粒,再依次进入一级聚结器 D-102 和二级聚结器 D-103 深度脱除游离水;脱除游离水和固体颗粒的凝析油增压后进入液相脱汞塔 C-102A/B,该方案液相脱汞塔采用双塔串联吸附,脱

汞剂推荐采用室内评价选出的 LH 系列脱汞剂 LH-C,将气田凝析油中汞含量降低至 $100\ \mu\text{g/L}$ 以下,经脱汞剂深度脱汞后的凝析油去凝析油储存罐。

(3) 汽提-化学吸附工艺试验

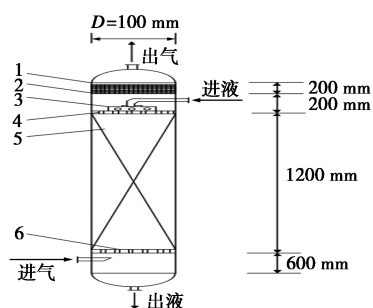
脱水脱烃装置来凝析油经原料油储罐 V-101 初步脱除泥沙和游离水,计量后泵送至过滤器 D-101 脱除固体颗粒,再依次进入一级聚结器 D-102 和二级聚结器 D-103 深度脱除游离水;脱除游离水和固体颗粒的凝析油从汽提塔 C-101 上部进入,不含汞氮气调压后从汽提塔 C-101 下部进入,凝析油与天然气在塔内逆向接触,凝析油中单质汞随氮气流流出。经汽提初步脱汞的凝析油增压后进入液相脱汞塔 C-103A/B,该方案液相脱汞塔采用双塔串联吸附,脱汞剂采用负载型金属卤化物脱汞剂 LH-C,将气田中凝析油中汞含量降低至 $100\ \mu\text{g/L}$ 以下,经脱汞剂深度脱汞后的凝析油去凝析油储存罐;汽提塔后的天然气经气液聚结器 D-104A/B/C 脱除液相(液烃、游离水)后去气相脱汞塔 C-102,气相脱汞剂采用负载型金属硫化物,脱汞后气体放空。

2.3 主要工艺设备

现场试验主要包括过滤单元、汽提脱汞单元、气相吸附脱汞单元和液相吸附脱汞单元,主要设备有过滤器、聚结器、汽提塔、气相脱汞塔、液相脱汞塔等。

(1) 汽提塔设计

根据凝析油处理规模 $0.2 \text{ m}^3/\text{h}$, 原料凝析油含量 $4\ 000 \text{ }\mu\text{g}/\text{L}$, 设计脱汞效率 $>60\%$, 工作温度 $30\sim 40^\circ\text{C}$, 工作压力 $150\sim 190 \text{ kPa}$, 利用 HYSYS11.0 模拟汽提脱汞过程, 计算汽提塔直径、理论塔板数、填料床层高度和气体需求量。散装填料采用 θ 环 ($\phi 10 \text{ mm}$), 理论塔板数 5 块。汽提塔设计结构如图 2 所示。



1—塔壳体; 2—丝网除雾器; 3—液体分布器; 4—填料压板;
5— θ 环填料; 6—填料支撑板

图 2 汽提塔设计

(2) 液相脱汞塔设计

以凝析油处理规模 $0.2\sim 0.4 \text{ m}^3/\text{h}$, 凝析油初始汞含量 $3\ 000 \text{ }\mu\text{g}/\text{L}$, 设计脱汞深度 $<100 \text{ }\mu\text{g}/\text{L}$, 工作温度 $30\sim 50^\circ\text{C}$, 工作压力 600 kPa 为基础数据, 根据脱汞前后凝析油汞含量、凝析油进料流量、脱汞剂有效汞吸附容量和使用年限等确定需要的脱汞剂用量; 根据空塔流速拟确定一个脱汞塔直径; 根据需要的脱汞剂用量确定吸附床层体积, 再根据脱汞塔直径计算床层高度。单个液相塔设计结构如图 3。

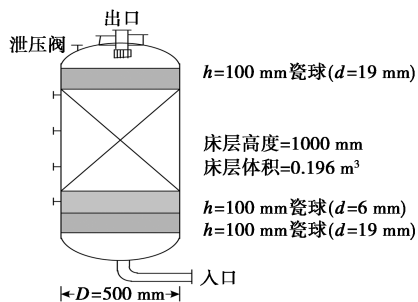


图 3 液相脱汞塔设计结构

气相脱汞塔设计思路与液相脱汞塔设计类似,

各设备选型结果见表 3。

表 3 主要设备尺寸

设备名称	规格/mm	设计压力/ MPa	设计温度/ $^\circ\text{C}$	数量/ 台
原料油储罐 V-101	$\phi 1000\times 2000$	常压	60	1
脱汞油储罐 V-102	$\phi 1000\times 2000$	常压	60	1
增压泵 P-101	额定流量 $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$	—	—	3
增压泵 P-102	扬程 60 m			
增压泵 P-103	电机功率 0.55 kW			
凝析油过滤器 D-101	DN300 \times 1000	0.38	60	1
一级聚结器 D-102	DN 450 \times 1350	0.38	60	2
二级聚结器 D-103	DN 450 \times 1350	0.65	60	
汽提塔 C-101	DN100 \times 1935	0.38	60	1
气液聚结器 D-104A/B/C	DN 250 \times 1013	0.38	60	3
气相脱汞塔 C-102	DN 500 \times 1400	0.38	60	1
液相脱汞塔 C-103A/B	DN 500 \times 1400	0.65	60	2
液相流量计 F-101A/B	涡轮流量计	1.0	—	2
	$0.1\sim 0.6 \text{ m}^3/\text{h}$			
气相流量计 F-102	涡街流量计	1.6	—	1
	$10\sim 50 \text{ m}^3/\text{h}$			
排污罐 V-103	DN 1000 \times H1000	常压	60	1

3 凝析油脱汞现场试验

根据实验装置的设计, 进行汽提脱汞操作; 化学吸附脱汞的串联、并联操作; 先汽提后吸附的串联操作。通过改变凝析油不同进料流量, 试验各脱汞方案的脱汞效果。记录凝析油进料流量、温度, 汽提塔汽提量、汽提塔以及化学吸附操作压力, 用 RA-915+塞曼效应汞分析仪及其附件配合使用来检测进出脱汞塔总汞含量。各工艺试验装置运行结果分析如下。

(1) 汽提试验结果分析

控制凝析油进塔流量为 $0.15、0.20 \text{ m}^3/\text{h}$, 由表 4 可以看出, 在微正压操作条件下, 汽提法脱汞除效率可超过 61% , 试验过程中脱汞后凝析油的含汞量最低为 $787 \text{ }\mu\text{g}/\text{L}$; 随着凝析油处理量的增大, 汽提气量也相应增大, 脱汞效率没有明显变化; 汽提塔压力是影响脱汞效果的主要参数, 随着汽提塔操作压力由 170 kPa 降低至 150 kPa , 脱汞效率提升了约 10% 。

表4 汽提脱汞部分试验结果

项目	试验结果				
凝析油进塔					
流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	0.20	0.20	0.20	0.15	0.15
温度/ $^{\circ}\text{C}$	30	31	32	31	32
汽提气(氮气)					
流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	18	18	20	16	16
温度/ $^{\circ}\text{C}$	36	37	41	40	39
汽提塔操作压力/kPa	170	160	150	150	150
凝析油总汞含量					
进汽提塔前/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	3320	2990	3780	2916	2857
汽提后/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	1294	1020	945	787	886
脱汞效率/%	61	66	75	73	69

(2) 化学吸附试验结果分析

通过表5、表6可以看出,两塔并联运行时,随着凝析油流量的增大,接触时间短,脱汞效率逐渐降低;两塔串联运行时,处理量增大则脱汞效率下降,随着凝析油的处理量由 $0.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 增大至 $0.4 \text{ m}^3/\text{h}$ (接触时间 $30 \sim 60 \text{ min}$),脱汞效率由 95% 下降至 81% ;试验过程中,串联运行最低的脱汞效率为 81% ,高于并联吸附方案;推荐吸附塔接触时间为 $40 \sim 60 \text{ min}$ 。

表5 化学吸附脱汞并联操作试验结果

项目	试验结果				
凝析油进塔					
流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6
温度/ $^{\circ}\text{C}$	32	30	32	31	32
凝析油总汞含量					
原料油储罐/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	2541	2436	2655	2715	2603
液相脱汞塔A出口/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	579	681	793	872	851
脱汞效率/%	77	72	70	66	63
液相脱汞塔B出口/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	604	628	868	986	949
脱汞效率/%	76	74	67	62	62

表6 化学吸附脱汞串联操作试验结果

项目	试验结果				
凝析油进塔					
流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4
温度/ $^{\circ}\text{C}$	29	29	31	30	31
凝析油总汞含量/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)					
原料油储罐	2376	3576	2537	3344	2353
液相脱汞塔A出口	427	1072	608	1105	658
液相脱汞塔B出口	114	608	177	635	282
脱汞效率/%	95	83	93	81	88

(3) 汽提-化学吸附试验结果分析

由表7可以看出,汽提-化学吸附法可将高含汞凝析油的汞含量降至 $100 \mu\text{g}/\text{L}$ 以下,脱汞效率大

于 97% ;汽提法可作为高含汞凝析油的初脱汞方案,关键是控制烃损失,控制措施为提高操作塔压力,增大汽提量。

表7 汽提-化学吸附试验结果

项目	试验结果				
凝析油进塔					
流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15
温度/ $^{\circ}\text{C}$	30	29	29	29	31
汽提气(氮气)					
流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	20	20	20	20	16
温度/ $^{\circ}\text{C}$	32	33	35	36	35
汽提塔操作压力/kPa	150	150	150	150	150
凝析油总汞含量/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)					
进汽提塔前	2716	2703	2419	3526	2485
汽提后	757	616	592	895	606
液相脱汞塔A出口	250	235	210	253	197
液相脱汞塔B出口	73	95	43	98	61

通过试验装置运行情况以及试验结果可以说明,针对高含汞凝析油,若只采用脱汞工艺中某一种工艺,不仅增加脱汞运行成本,而且脱汞效果不佳。因此,根据总汞含量高、汞存在形态复杂的凝析油,推荐采用汽提-化学吸附脱汞工艺方案,降低脱汞成本,保证脱汞效果,无二次污染。

4 结论

(1)凝析油主要采用脱汞技术有吸附法、汽提和化学沉淀法。化学吸附法操作简单,技术成熟而受到广泛关注;汽提法能够避免液烃脱汞的缺点,但汽提气体必须处理和回收;化学沉淀法需要大量硫化钠溶液,量不好控制容易造成二次污染,而且还需要在搅拌状态下保持大量的2种液相,这样会形成难以分离的油-水乳液。

(2)分析凝析油中汞的形态结构及其特点,提出化学吸附、化学沉淀及汽提的高含汞凝析油脱汞综合处理工艺方案。按照模块化、橇装化的设计思路,对高含汞凝析油处理试验装置进行开发和设计。

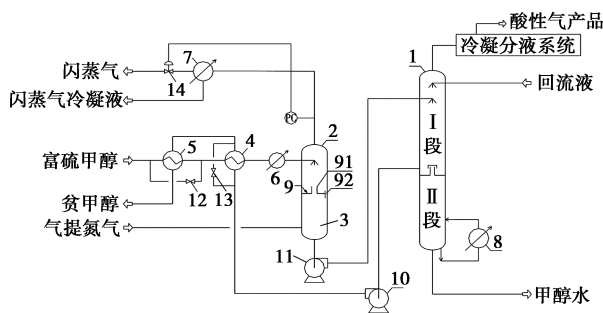
(3)通过开展汽提脱汞、吸附脱汞、汽提-吸附脱汞试验,结果表明,汽提法脱汞脱除效率可超过 61% ,试验过程中脱汞后凝析油的含汞量最低为 $787 \mu\text{g}/\text{L}$;单塔化学吸附法脱汞后凝析油脱汞率为 $62\% \sim 76\%$,双塔脱汞后凝析油脱汞率为 $81\% \sim 95\%$ 。串联运行的脱汞效率高于并联吸附方案。推荐吸附塔接触时间为 $40 \sim 60 \text{ min}$ 。汽提-化学吸附法可将高含汞凝析油的汞含量降至 $100 \mu\text{g}/\text{L}$ 以下,脱汞效率大于 97% 。

(下转第225页)

的工艺流程 I 做了进一步研究,提出了进一步的酸性气提浓改进工艺流程 II。

5 改进的酸性气提浓工艺流程 II

改进的工艺流程 II (见图 7) 相比工艺流程 I 主要对闪蒸塔 2 和汽提塔 3 做了调整,闪蒸塔 2 和汽提塔 3 共用同一塔体,两者之间采用塔盘 9 相隔离,闪蒸塔 2 位于汽提塔 3 的上方;塔盘 9 上设有供汽提塔 3 内气相进入闪蒸塔 2 的升气管 91,汽提塔出口气相经过升气管 91 进入闪蒸塔 2,塔盘 9 上还设有供闪蒸塔 2 内的液相进入汽提塔 3 的降液管 92,闪蒸塔 2 的液相通过降液管 92 进入汽提塔 3。工艺流程 II 通过调整,可以降低热闪蒸和汽提塔的高度,减少设备投资的同时不影响 H₂S 浓缩效果。



9—塔盘;91—升气管;92—降液管

图 7 改进后的富甲醇热闪蒸再生流程 II

6 结论

通过研究提出了改进的酸性气提浓工艺流程,相比传统提浓工艺,本文中提供的提浓工艺不仅酸性气中 H₂S 的提浓作用明显,而且具有投资费用节

省和操作费用低的特点。改进的富甲醇热闪蒸再生流程 I、II 可以推广替代传统酸性气提浓工艺。

(1) 采取设置过热器、增加循环泵的方式来改变闪蒸操作条件,改进的 H₂S 提浓工艺操作压力及操作温度可以调节,具有灵活性。

(2) 在低硫工况下,改进的提浓工艺通过改变操作条件和辅助汽提在取消酸性气循环回流措施的前提下也能将酸性气中 H₂S 充分提浓至摩尔分数 40% 以上。

(3) 考虑可获得性和经济性,选择氮气作为汽提气。氮气的用量和热闪蒸温度的选择要综合考虑,根据需要处理的甲醇量计算分析后选取;不合适的操作条件会导致酸性气中 N₂ 含量过高,影响提浓效果。

(4) 汽提塔合适的理论板数为 5~6 块理论板,在选取氮气作为汽提气的情况下,理论板数过高反而影响提浓效果。

(5) 改进的酸性气提浓工艺对原料气硫含量的适应性较强。

参考文献

- [1] 王斌,魏振军.硫回收装置运行概况分析[J].化肥工业,2016,43(3):23-27.
- [2] 刘增让,李海燕,刘爱华,等.煤化工酸性气对硫磺回收装置烟气 SO₂ 排放浓度的影响[J].硫酸工业,2018,(1):34-37.
- [3] 钱华光,张述伟,管凤宝,等.低温甲醇洗装置工艺模拟及改造研究[J].大氮肥,2012,35(4):222-224.
- [4] 张少华.原料气调整后低温甲醇洗改造方案探讨[J].能源与节能,2017,(11):35-36,38.
- [5] 仇登可.低温甲醇洗系统酸性气解吸工艺技术改造[J].大氮肥,2017,40(6):384-388,398.■
- [6] of Petroleum and Minerals,2012.
- [4] Sugier A, Villa A. Process for removing mercury from a gas or a liquid by absorption on a copper sulfide containing solid mass; US, 4094777 [P]. 1978-06-13.
- [5] Tsoung Y Y. Mercury removal from oils [J]. Chemical Engineering Communications, 2000, 177(1): 15-29.
- [6] Frankiewicz T C, Gerlach J. Process for removing mercury from liquid hydrocarbons using a sulfur-containing organic compound; US, 6685824 [P]. 2004-02-03.
- [7] Salva C A, Gallup D L. Mercury removal process is applied to crude oil of southern argentina [C]. Society of Petroleum Engineers, 2010.
- [8] Yan T Y. Process for removing mercury from water or hydrocarbon condensate; US, 4962276 [P]. 1990-10-09.
- [9] Yamaguchi Y, Kaku S, Chaki K. Mercury-removal process in distillation tower; US, 7563360 [P]. 2009-07-21.
- [10] Cross J B, Singh P, Sadok D, et al. Mercury removal from crude oil; US, 8080156 [P]. 2011-12-20. ■

参考文献

- [1] Petroleum Development Oman. Engineering and operations specification for onsite mercury management [R]. 2012.
- [2] Braden M L, Lordo S A. Removal of mercury and mercuric compounds from crude oil streams; US, 8524074 [P]. 2013-09-03.
- [3] Abulkibash A. Development of sorbent materials to remove mercury from liquid hydrocarbons [D]. Saudi Arabia; King Fahd University

(上接第 219 页)

(4) 化学吸附法脱汞效率较高,技术成熟,但若汞质量分数超过 $100 \times 10^{-9} \sim 300 \times 10^{-9}$ 时,吸附剂的成本会过高。汽提法可作为高含汞凝析油的初脱汞方案,关键是控制烃损失,控制措施为提高操作塔压力,增大汽提量。汽提-化学吸附法脱汞可作为高含汞凝析油的深度处理工艺。