

# 塔河混合原油脱盐试验研究

范俊杰 金 柱

中国石化塔河炼化有限责任公司 新疆 库车 842000

**摘要:** 本文通过对原油性质考察,找到塔河混合原油脱盐困难的因素;对塔河混合原油盐含量的三种分析方法适用性和准确性进行研究,确定最适合分析塔河混合原油盐含量方法,探究塔河混合原油盐形态、分布规律及付油期间原油罐盐含量分布,考察和研究装置电脱盐效果,进而指导优化工艺操作。分析了原油罐在沉降、付油时密度、含盐、含水变化趋势,提出装置在付油过程中的注意事项及操作要点;分析了装置在不同处理量情况时常二线掺稀的比例。实际操作过程中需结合装置生产可操作性以及经济性,进一步优化罐区和装置的脱盐操作,以达到装置电脱盐长周期稳定运行的目的。

**关键词:** 塔河混合原油; 沉降脱盐; 检测方法; 掺稀; 优化操作

塔河混合原油具有密度大、粘度高、盐含量高、残炭高、蜡含量低、沥青质高、硫、镍、钒含量高的特点,与国内一些重质原油相比塔河混合原油的残炭、沥青质、金属钒等仍高出许多,在加工过程中容易造成盐类结晶腐蚀破坏设备<sup>[1]</sup>。

近年来由于油田的不断开发,原油性质波动较大<sup>[2]</sup>,密度、盐含量升高趋势明显,影响了后续装置的正常运

行,脱后盐含量长时间达不到工艺指标要求,对装置的安全生产造成了很大的压力。同时也增加了污油回炼工艺操作难度。本文对塔河混合原油中盐分布、付油期间原油罐盐含量分布、原油掺稀试验、装置不同处理量电脱盐的运行等进行考察和研究,对装置电脱盐的运行进行指导和优化,以达到装置长稳优运行的目的。

## 1 原油性质考察

表1 末站原油性质

时间(年)	盐含量均值mg/L	盐含量最大值mg/L	水分%(m/m)	密度(20℃)kg/m <sup>3</sup>
2020	494	866	0.120	947.0
2021	594	3335	0.200	948.4
2022	642	5693	0.225	946.8
2023	629	3800	0.220	941.2
2024	499	1216	0.125	939.7

通过表1的分析数据可以得出,对近5年以来末站原油的盐含量、水分、密度和硫含量数据进行分析,原油平均密度在939.7kg/m<sup>3</sup>~948.4kg/m<sup>3</sup>区间,含盐在494mg/L~642mg/L区间,其中2022年盐含量最高达到5693mg/L。

表2 不同采样点原油数据比对

样品名称	硫含量%(m/m)	粘度(50℃)mm <sup>2</sup> /s	灰分%(m/m)	盐含量mg/L
脱后原油	1.90	928.6	0.121	6.6
末站原油	1.90	1108.6	0.141	985
罐区原油	1.92	1368.0	0.160	795

通过分析表2数据,原油经过电脱盐处理之后,硫含量并未出现显著变化。脱后原油中的盐含量降低,其粘度也相应下降,脱后盐含量可以降至6.6mg/L。

综上所述,影响电脱盐效率主要的因素为进装置前原油预处理效果深度不够;塔河混合原油的高粘度、高密度、高含水的性质,影响了常压电脱盐的脱盐效率。

## 2 塔河混合原油盐含量分析方法的探究

目前在国内最常用的含盐分析方法为GB/T 6532-2012

《原油中盐含量的测定 电位滴定法》和SY/T 0536-2008《原油盐含量的测定 电量法》,其中电量法为主要分析方法。除此之外,还可应用NB/SH/T 0977-2019《轻质油品中氯含量的测定 单波长色散X射线荧光光谱法》检测其中的氯含量,再经过计算得出原油中的盐含量。

### 2.1 原油盐含量分析方法及结果一致性

将同种样品经三种方法进行分析,分析相对误差比对结果如表3:

表3 洗涤原油荧光氯和库仑盐含量比对 (mg/L)

样品名称	电量法	X荧光法	电位滴定法	平均值	差值
1#脱前原油	391	403.5	402.6	399	40
2#脱前原油	395	432.9	430.0	419	42
末站原油	247	253.7	250.8	251	25

通过表3的得出,三种原油盐含量分析方法的相对误差小于5.79%,在要求的相对误差10%以内,

## 2.2 三种盐含量分析方法优缺点比对

表4 三种方法优缺点

序号	实验方法	优点	缺点
1	SY/T 0536-2008《原油盐含量的测定 电量法》	快速、准确、批量检测	样品均质难度大
2	NB/SH/T 0977-2019《轻质油品中氯含量的测定 单波长色散X射线荧光光谱法》	方便、快捷、无损检测	样品中杂质和水分析影响重复性
3	GB/T 6532-2012《原油中盐含量的测定 电位滴定法》	取样量大,分析具有代表性	分析时间长、样品处理过程有污染、无机盐无法萃取完全

目前塔河混合原油盐含量分析采用的方法为SY/T 0536-2008《原油盐含量的测定 电量法》和GB/T 6532-2012《原油中盐含量的测定 电位滴定法》。

## 2.2.1 电量法测定原油盐含量

原油盐含量测定主要方法是SY/T 0536-2008《原油盐含量测定 电量法》,此方法分析精度达到0.1mg/L,分析范围2.0mg/L~10000mg/L,分析时间仅10min,在行业内得到广泛应用。

## 2.2.2 电位滴定法测定原油盐含量

电位滴定法依据GB/T 6532-2012《原油盐含量测定 电位滴定法》,此方法分析精度为1.0mg/L,分析范围5mg/L~1500mg/L,分析时间为90min,但是此方法在萃取塔河混合原油的过程中,由于塔河混合原油密度和粘度较大,使原油中的无机盐萃取不完全,使实验结果偏低。

## 2.2.3 单波长X荧光法测定原油盐含量

将原油:二甲苯:蒸馏水=1:4:6进行稀释降粘震荡洗涤并经过6000r/min的高速离心机进行两相分离,用高强度单波长X荧光检测水相氯折算成原油盐含量。精度达到0.1mg/L,分析范围0.5mg/L~500mg/L,分析时间为10min,但是塔河混合原油含盐量较高,此方法检测范围较窄,不满足分析要求。

通过表4分析,鉴于塔河混合原油高粘度、高密度、高含盐性质,NB/SH/T 0977-2019《轻质油品中氯含量的测定 单波长色散X射线荧光光谱法》和GB/T 6532-2012《原油中盐含量的测定 电位滴定法》不适用于塔河混合原油分析盐含量。综合精密密度、分析效率及经济性考虑,并经与其他科研单位比对,SY/T0536-2008《原油盐含量测定 电量法》适合分析塔河混合原油盐含量。此方法检出限低、检测范围广、结果准确、分析速度快。

## 2.3 原油盐含量形态的探究

表5 原油X射线荧光光谱法和电量法盐含量比对

样品名称	样品处理	稀释比例	盐含量(X荧光法)mg/L	盐含量(电量法)mg/L
1#脱前原油	未处理	未稀释	379	245
	二甲苯:原油	4:1	936	246
	二甲苯:原油	2:1	702	247
	二甲苯:原油:水	4:1:6	249	247
2#脱前原油	未处理	未稀释	378	430
	二甲苯:原油	4:1	705	431
	二甲苯:原油	2:1	435	432
	二甲苯:原油:水	4:1:6	429	431
末站原油	未处理	未稀释	325	255
	二甲苯:原油	4:1	278	256
	二甲苯:原油	2:1	151	257
	二甲苯:原油:水	4:1:6	256	255

通过深入分析表5中的数据，我们可以清晰地观察到，在采用X射线荧光光谱法测定未稀释的原油以及经过不同比例稀释后的原油时，所得出的荧光氯含量存在显著的偏差。

在未稀释状态下，原油中的盐含量因其固有的物理和化学性质而呈现出局部聚集或分散的特点。这些盐类以颗粒、结晶或溶解态的形式存在于原油中，其分布状态受到温度、压力、原油组分等多种因素的影响。因此，在未经稀释的情况下，荧光氯测定的是原油中某一局部或平均的盐含量水平。

当原油被稀释后，其内部的盐类物质因稀释比例的不同而呈现出不同的分布和表现。在稀释比例较低时，原油中的盐类物质仍能保持其原有的分布状态，荧光氯的测定结果与未稀释时相近。但随着稀释比例的增加，原油中的盐类物质可能因溶剂的加入而发生重新分布或溶解，导致荧光氯的测定结果出现明显的偏差。综上所述，表5中的数据揭示了原油中盐含量的不均相分布特性。

#### 2.4 原油盐含量分布的探究

原油经过稀释并水洗处理后，利用X射线荧光光谱法与SY/T 0536-2008《原油盐含量的测定 电量法》所得到的盐含量结果表现出高度的一致性。这不仅证实了原油

中盐含量的测定方法存在可比性，验证了原油中盐类的具体性质及其分布特点。

首先，两种方法的结果一致表明，原油中的盐类主要为无机盐。无机盐通常具有较高的水溶性，因此在经过稀释和水洗处理后，能够较为完全地溶解于水相中，两种方法均能准确测定<sup>[2]</sup>。

其次，盐含量在水相中的均匀分布证明了原油中无机盐处于溶解和分散状态。在原油开采和产出的过程中，由于地下岩层中含有大量的含盐水，这些水会不可避免地与原原油混合在一起。随着原油的运移和产出，这些含盐水及其中的无机盐也会一并被带出地面。综上所述，经过稀释并水洗处理后，X射线荧光光谱法与电量法测定的原油盐含量结果在再现性范围之内，原油中的盐类主要为无机盐且在水相中均匀分布。

### 3 原油储罐含盐含水分布考察

通过分析静态沉降原油罐分层和付油罐不同液面质量进行考察。静态原油选用G101，分析时间点为第12h、第24h、第36h。付油罐选用沉降24小时后原油罐G109，在付油时考察不同液位的质量情况，探究盐含量的分布，数据如表6和表7。

表6 罐区原油 (G101) 静态沉降数据

沉降时间	液位	含盐 (mg/L)	水分% (m/m)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	粘度 (50°C) mm <sup>2</sup> /s
12h	1/6	433	0.200	947.6	1222
	1/2	440	0.200	947.9	1235
	5/6	452	0.200	948.0	1255
	出口液面	482	0.200	948.2	1275
24h	1/6	420	0.200	947.5	1205
	1/2	442	0.200	947.6	1286
	5/6	460	0.200	948.3	1328
	出口液面	489	0.250	948.5	1384
36h	1/6	403	0.125	947.1	1192
	1/2	418	0.150	947.2	1214
	5/6	487	0.150	948.7	1215
	出口液面	514	0.275	948.9	1409

通过表6分析，静态原油罐的原油经过不同沉降时间：12h、24h、36h，出口液面的盐含量、水分、密度和粘度不断上升，沉降第36h出口盐含量比1/6处盐含量高

94mg/L、水分上升0.150%、粘度上升217mm<sup>2</sup>/s、密度上升1.8kg/m<sup>3</sup>，原油在罐内出现不均匀现象。

表7 G109原油出口液面处质量情况

原油罐液位	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	含水% (m/m)	含盐 (mg/L)
17.1m	947.6	0.400	763
14.8m	946.6	0.400	664
11.4m	946.3	0.300	647

续表:

原油罐液位	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	含水% (m/m)	含盐 (mg/L)
8.67m	946.5	0.250	607
5.60m	946.0	0.200	558

从表7分析,付油时,出口液面处原油的盐含量、含水、密度数值各不相同,沉降24小时后,原油罐初始液位为17.1m盐含量、含水、密度最高,随着原油罐付油的持续,盐含量、含水、密度呈逐渐降低的趋势,盐含量下降了141mg/L,占比18.5%。水分降低了50%,建议在付油初期焦化装置提前关注原油罐含盐、含水分析数据,并及时调整工艺操作,以达到质量受控的目的。

#### 4 原油掺稀试验

原油掺轻油组分的试验,在轻油的选择上,从常压顶循油、分馏塔顶循油、常二线油、常一线油来进行分析和选择,最终选择为常一线油和常二线油进行比对试验,因为常压塔顶循油和分馏塔顶循油虽然密度低、富余量也高,但氯含量较高,不适合进行掺稀。基础原油选择罐区原油和进厂末站管线原油。

表8 原油和轻质油基础数据

样品名称	采样点	密度kg/m <sup>3</sup>	水分% (m/m)	盐含量mg/L	粘度 (50℃) mm <sup>2</sup> /s
基础油	G108	949.8	2.175	910	2596
	末站管线原油	947.9	2.000	530	1989
	末站管线原油	946.6	0.250	645	2457
轻油	常一	786.8	<0.2	<1	/
	常二	849.1	<0.2	<1	/

表9 掺不同组分的轻质油下部样粘度试验

样品名称	浴温℃	沉降时间h	底部粘度 (50℃) mm <sup>2</sup> /s
掺3%常一线	70	48	2417
掺3%常二线	70	48	1747

水浴温度设置为70℃,静置条件为48小时,轻油选择3%常一线油和3%常二线油进行比较。经分析后发现样品出现分层,分层现象很明显,时间越长底部原油粘度越大。通过对实验室掺稀不同组分的筛选比对,从

试验结果来看常一线油作为掺稀轻油效果最佳,但是由于常一线油作为航煤原料产量受限,而常二线油产量相对较大,能达到实验效果,所以推荐常二线油作为掺稀轻油。

表10 掺不同浓度的轻质油试验

样品名称	浴温℃	沉降时间h	分析点位	水分% (m/m)	盐含量mg/L
掺5%常二线	100	5	上	0.200	17.7
			中	0.250	33.6
			下	1.900	855
掺3%常二线	100	5	上	0.150	6.0
			中	0.200	12.1
			下	1.625	745

本试验将条件温度设置为100℃,为了模拟生产装置掺稀比例,配比选择5%的常二线和3%的常二线,随着沉降时间增加,原油中的水分不断凝聚沉降,下部样的盐含量逐渐增大,上层和中层水变化不大在0.150%~0.250%区间、盐含量在6.0mg/L~33.6mg/L区间,而下层水分别为1.625%和1.900%,盐含量可达到745mg/L和855mg/L,且在掺5%常二线沉降5h的下部含盐要比3%的常二线沉降下部含盐要大14.8%,此试验说明在同种轻油掺入下,其掺比浓度越高,沉降效果越好。

在以上原油掺稀数据中可以得出,同种轻油掺入比例越高,原油脱水效果越好。从装置轻油产出比例及用途,综合考虑推荐掺入5%常二线油最为合适,其次在后续装置原油掺稀时,建议从进装置原油管线处注入常二线油,这样可以保证原油与常二线油能够充分混匀形成均一介质,避免出现分层现象,可降低成本,操作可行性强<sup>[3]</sup>。

#### 5 号常压焦化不同处理量电脱盐效果分析

在装置不同处理量的条件下,原油从原油罐换罐

进装置开始至罐内原油付油结束，每天分析其脱前和脱后原油的盐含量、含水、密度、粘度并进行数据对比分析，以此考察脱前原油的粘度范围和原油脱盐脱水后的关联。

表11 装置不同处理量电脱盐参数

处理量	一级注水量 (d/t)	二级注水量 (d/t)	换热温度 (°C)	电脱盐罐时间 (min)
2400t/d	10	7.5	145	50
3300t/d	11.5	9	142	28
4000t/d	11.5	7.5	145	23

通过表11分析，在不同处理量时，电脱盐注水量和换热温度未发生明显变化，而随着原油处理量升高，原油在电脱盐罐沉降脱水时间缩短。

由于掺入轻油量不变，随着处理量的增大时，掺稀比例相对变小，原油处理量在2400t/d时，掺稀比例为

5.0%；处理量在3300t/d时，掺稀比例为3.6%；处理量在4000t/d时，掺稀比例为3.0%，随着处理量增大，掺稀浓度、粘度均在降低。

5.1 装置原油处理量为2400t/d

表12 1号焦化原油数据

样品名称	含盐 (mg/L)	含水% (m/m)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	粘度50°C (mm <sup>2</sup> /s)
掺稀前原油	701	0.300	946	1053
掺稀后脱前原油	593	0.350	942	792.8
三级脱后原油	3.0	0.450	945.2	874.6
掺稀后脱前原油	592	0.550	940.1	528.4
三级脱后原油	3.0	0.250	944.1	615.6
掺稀后脱前原油	644	0.600	940.3	560.2
三级脱后原油	3.0	0.400	943.7	623.5

从表12数据分析，处理量在2400t/d掺稀比例为5.0%，经过常二线掺稀过后，原油粘度明显下降，粘度随着密度降低而降低。从掺稀跟踪情况看，密度在940kg/m<sup>3</sup>~944kg/m<sup>3</sup>时，运动粘度在520mm<sup>2</sup>/s~660mm<sup>2</sup>/s，脱盐效果较好，盐含量可降低至5.0mg/L以下。

5.2 装置原油处理量为3300t/d

表13 1号焦化原油数据

样品名称	含盐 (mg/L)	含水% (m/m)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	粘度50°C (mm <sup>2</sup> /s)
掺稀前原油	498	0.250	947.3	1523
掺稀后脱前原油	490	0.650	946.7	991
三级脱后原油	5.7	0.350	950.6	1018
掺稀后脱前原油	663	0.750	944.1	891
三级脱后原油	3.0	0.850	945.9	1025
掺稀后脱前原油	508	0.450	943.1	882
三级脱后原油	3.0	0.400	946.6	941

从表13数据分析原油处理量提升至3300t/d，掺稀比例为3.6%，脱前原油粘度达到800mm<sup>2</sup>/s左右；三级脱后原油的密度和粘度仍然比脱前要大；从掺稀试验看，原油处理量在3300t/d时，粘度降至850mm<sup>2</sup>/s以下时，三级脱后电脱盐才可降低至5.7mg/L以下。

5.3 装置原油处理量为4000t/d

表14 1号焦化原油数据

样品名称	含盐 (mg/L)	含水% (m/m)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	粘度50°C (mm <sup>2</sup> /s)
掺稀前原油	407	0.300	946.9	1297
掺稀后脱前原油	497	0.400	947.9	935
三级脱后原油	5.7	0.600	951.3	888
掺稀后脱前原油	425	0.300	946.9	920

续表:

样品名称	含盐 (mg/L)	含水% (m/m)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	粘度50°C (mm <sup>2</sup> /s)
三级脱后原油	9.7	0.500	947.3	1104
掺稀后脱前原油	406	0.300	947.2	918
三级脱后原油	3.0	0.350	949.2	952

从表14数据分析,原油处理量提升至4000t/d,掺稀比例为3.0% (常二线)脱前原油粘度达到900mm<sup>2</sup>/s左右;脱前密度和罐区密度相差不大。从掺稀情况来看,

表15 1号焦化原油不同处理量与粘度、含盐、密度关系

处理量 (t/d)	粘度 (mm <sup>2</sup> /s)	密度20°C (kg/m <sup>3</sup> )	脱后含盐 (mg/L)
2400	< 660	941~944	< 5.0
3300	< 850	< 945.0	< 5.7
4000	< 950	< 947.9	< 9.7

当原油处理量为2400t/d时,脱前原油密度在941kg/m<sup>3</sup>~944kg/m<sup>3</sup>时,运动粘度降至660mm<sup>2</sup>/s以下,电脱盐三级含盐可降至5.0mg/L以下;当原油处理量为3300t/d时,脱前原油密度在945kg/m<sup>3</sup>时,运动粘度降至850mm<sup>2</sup>/s以下,电脱盐三级含盐可降至5.7mg/L以下;当原油处理量为4000t/d时,脱前原油密度在947.9kg/m<sup>3</sup>时,脱前原油运动粘度降至950mm<sup>2</sup>/s以下,电脱盐三级含盐可降至9.7mg/L以下。

#### 结束语

通过三种分析方法的比较验证,选择电量法分析更适合塔河混合原油高粘度、高密度、高含盐的特性,在原油样品处理过程中无机盐萃取效果最佳,可实现快速、准确、批量检测的效果。

原油储罐含盐含水分布考察表明,原油预处理效果对装置电脱盐高效运行有一定影响。原油在罐内储存时出现分层现象,储罐向装置付油初期,装置会出现小幅波动,建议装置提前关注原油罐含盐、含水分析数据,并及时调整工艺操作,以达到质量受控、装置平稳生产的目的。

原油掺稀实验的结果表明,随着轻油掺入比例的提

高,原油的粘度和密度均显著下降,使油水密度差变大、油水分离效果更佳,提高原油脱水过程中的破乳效率,实现改善电脱盐装置脱盐脱水的目的。

通过对1号常压焦化电脱盐实验数据统计分析:随着原油处理量增加,掺稀量不变,脱前原油密度和运动粘度相应上升,电脱盐效率逐渐降低。脱前原油盐含量700mg/L以下时,其它操作条件不变,当处理量为2400t/d时,密度944kg/m<sup>3</sup>以下时,粘度降至660mm<sup>2</sup>/s以下,电脱盐三级脱后含盐可低于5.0mg/L;处理量3300t/d时,密度945.0kg/m<sup>3</sup>以下时,粘度降至850mm<sup>2</sup>/s以下,含盐可低于5.7mg/L;处理量4000t/d时,密度947.9kg/m<sup>3</sup>以下时,粘度降至950mm<sup>2</sup>/s以下,含盐可低于9.7mg/L,此参数可用于指导1号常压焦化装置电脱盐运行。

#### 参考文献

- [1]柴智崔,江峰.塔河混合原油特性与塔河稠油生产工艺[J].《山西建筑》2006.32(4):173-175.
- [2]李彬,杨森.原油性质变化与电脱盐装置操作条件优化[J].《炼油技术于工程》2008.38(7)15-16
- [3]张孟奇.重质原油强化电脱盐研究及装备开发[J].中国石油大学2020.01 94-95