

风城油田超稠油采出水处理工艺及应用

张志庆

(中油(新疆)石油工程有限公司)

摘 要 风城油田超稠油采出水具有“含砂高、黏度高、密度高”的特点,大量不易分离的粉砂和泥质附在油中,其乳化稳定性强,处理难度大;沉降脱水罐来水含油量 $>10\,000\text{ mg/L}$,悬浮物 $>500\text{ mg/L}$,高含油及悬浮物对采出水处理系统影响及冲击较大。采用“两级除油+混凝反应+两级过滤”工艺对超稠油采出水进行处理,处理后净化水含油量 $\leq 2\text{ mg/L}$,悬浮物 $\leq 2\text{ mg/L}$,污水处理合格率 100% ,污水回用率 100% ,回用油田注汽锅炉。实现了污水的循环利用,节约清水费用 $2\,463.75$ 万元,可充分利用高温采出水热能,年均节约天然气用量约 $5\,475\times 10^4\text{ Nm}^3$,节约天然气费用 $5\,365.5$ 万元。

关键词 超稠油采出水; 处理回用; 注汽锅炉

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2019.03.007

文章编号:1005-3158(2019)03-0022-04

0 引 言

风城 2 号超稠油联合处理站于 2013 年建成投产,主要承担着 217 国道以东油区稠油及采出水处理任务^[1]。采出水处理系统设计规模为 $40\,000\text{ m}^3/\text{d}$,装置处理能力 $2\,000\text{ m}^3/\text{h}$,选用“离子调整旋流反应法污水处理技术”^[2-3],采用“两级除油+混凝反应+两级过滤”工艺处理后净化水回用热采注汽锅炉,主要指标:含油量 $\leq 2\text{ mg/L}$ 、悬浮物 $\leq 2\text{ mg/L}$,污水处理合格率 100% ,污水回用率 100% ^[4]。解决了污水外排污染环境、高温热能浪费和水资源紧张的问题^[5]。

1 物性分析

风城油田超稠油采出液 50°C 时混合样黏度为 $21\,825\sim 61\,200\text{ mPa}\cdot\text{s}$, 100°C 温度时黏度为 $1\,500\text{ mPa}\cdot\text{s}$ ^[6],原油处理系统脱水温度 $85\sim 95^\circ\text{C}$;采出水温度 $82\sim 92^\circ\text{C}$,水质物性复杂、乳化程度高、泥质含量高等,风城油田超稠油采出水及原油物性数据见表 1、表 2。

从表 1 中可以看出,原油脱水后采出水的含油量和悬浮物数据超标严重。

表 1 采出水物性分析

项目	检测结果/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)		
	1 [#] 水样	2 [#] 水样	3 [#] 水样
pH 值	8.33	8.58	8.15
CO_3^{2-}	46.6	69.4	55.5
HCO_3^-	501.1	420.4	670.2
$\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	10.2	10.8	14.1
Cl^-	1\,101.4	1\,123.1	1\,152.1
SO_4^{2-}	584.4	272.5	293.9
K^++Na^+	1\,205.0	1\,056.7	1\,169.6
SiO_2	218.8	236.1	226.9
总硬度	30.6	30.7	35.6
矿化度	2\,766.0	2\,742.0	3\,023.7
含油量	15\,825	14\,645	14\,810
悬浮物	461	474	544
水型	重碳酸钠	重碳酸钠	重碳酸钠

表 2 原油物性分析

检测类型	原油物性(混合油样)
开口闪点/℃	187
沉淀物	微量
凝固点/℃	29
总硫/%	0.05
蜡含量/%	1.94
胶质/%	22.75
沥青质/%	1.89
含砂量/%	1.14
酸值/(mgKOH·g ⁻¹)	0.77
密度/ (g·cm ⁻³)	20℃ 0.972 0
	50℃ 0.957 0
	95℃ 0.929 0
黏度/ (mPa·s)	50℃ 26 600
	100℃ 607
	120℃ 233

2 现场试验

2.1 油珠粒径

采出水的油珠粒径分布试验数据见表 3 和表 4。可以从表 3、表 4 看出,超稠油采出水含油很高,油珠粒径分布的特点是:乳化程度高的小油珠占大部分,依靠简单沉降处理去除的含油量仅占总含油量的 13.8%左右;而粒径小于 10 μm,总含油量的 65.9%依靠重力沉降很难去除。

表 3 油珠粒径分布(掺柴前)

粒径范围/μm	含油量/(mg·L ⁻¹)	粒径分布/%
≤60	11 014	86.2
≤40	10 258	80.3
≤20	9 732	76.2
≤10	8 415	65.9
总含油量/(mg·L ⁻¹)	12 774	

表 4 油珠粒径分布(掺柴后)

粒径范围/μm	含油量/(mg·L ⁻¹)	粒径分布/%
≤60	10 087.9	91.1
≤40	9 555.6	86.3
≤20	9 246.6	83.5
≤10	8 352.2	75.4
总含油量/(mg·L ⁻¹)	11 077.8	

2.2 沉降试验

对采出水进行不加除油剂、加除油剂的静置沉降试验,数据见表 5、表 6 和表 7。

表 5 不加药静置沉降试验数据

静置时间	含油量/(mg·L ⁻¹)	悬浮物/(mg·L ⁻¹)
0 min	11 634	450
1 min	11 546	430
10 min	11 546	325
30 min	11 458	300
1 h	11 375	300
2 h	11 292	270
4 h	11 219	260
8 h	11 141	225
24 h	8 324	145

表 6 加药静置沉降试验悬浮物数据

加药量/ (mg·L ⁻¹)	悬浮物/(mg·L ⁻¹)						
	0 min	10 min	30 min	1 h	2 h	4 h	8 h
10	450	295	280	275	255	260	227
40	450	180	172	168	155	160	136
80	450	115	68	45	24	25	17

表 7 加药静置沉降试验含油量数据

加药量/ (mg·L ⁻¹)	含油量/(mg·L ⁻¹)					
	10 min	30 min	1 h	2 h	4 h	8 h
10	6 397	6 365	5 294	5 046	4 345	3 119
20	4 541	3 988	3 564	3 217	2 563	2 078
40	2 781	2 386	2 634	2 560	1 876	1 650
60	1 198	895	654	449	249	173
80	781	249	256	194	168	109

注:来水含油 11 634 mg·L⁻¹。

通过沉降试验可看出,采出水不加除油剂静置沉降 8 h 后污水含油去除率仅为 4.2%;投加除油剂 10 mg/L,沉降 8 h 后污水含油量去除率可达到 70%以上。

3 采出水处理工艺

针对风城超稠油采出水具有水温高、油水密度差小、乳化程度高、油珠粒径小及裹挟沙能力强等物性特点,并结合已建工程运行效果,处理选用“两级除油+溶气气浮(预留)+混凝反应+两级过滤”工艺流程,确保净化水含油量≤2 mg/L,悬浮物<5 mg/L,处理后回用油田注汽锅炉。

3.1 工艺流程

原油处理系统来水→ $2 \times 15\,000\text{ m}^3$ 除油罐→ $2 \times 10\,000\text{ m}^3$ 调储罐→反应提升泵→污水反应罐→ $2 \times 3\,000\text{ m}^3$ 混凝沉降罐→ $2 \times 3\,000\text{ m}^3$ 过滤缓冲罐→过滤提升泵→双滤料过滤器→多介质过滤器→出水(进软化水处理系统)

3.2 辅助流程

1) 药剂投加系统

采出水系统投加 6 种药剂,其中在反应提升泵出水管线上加入 1 号药剂,在污水反应器进口加入 2 号药剂,在污水反应器内加入 3 号药剂;并在调储罐进口投加缓蚀阻垢剂和除油剂,在污泥处理单元考虑投加污泥脱水剂,药剂投加量根据现场试验及生产运行优化。

药剂按一定顺序和时间间隔投加,加药量根据水量变化自动调节,并配套设置溶药、贮液及搅拌设备。药剂采用湿投方式,各种药剂均需用清水稀释成一定浓度后投加,选用液压隔膜计量泵投加。

2) 污水回收

辅助流程污水均回收再处理,站内建 2 座 $1\,000\text{ m}^3$ 污水回收池,站外建 1 座 $20\,000\text{ m}^3$ 事故水池,分别由安装在污水污泥泵房内的污水回收泵将不同层位污水提升至原油处理或采出水处理系统再处理。

3) 污油回收

除油罐回收的污油通过原油处理系统综合泵房的污油回收泵提升至原油处理系统一段沉降脱水罐处理;调储单元及混凝反应单元回收的污油经调储罐操作间的污油回收泵提升至老化油处理系统。

4) 污泥处理

除油调储单元、混凝反应单元等处理构筑物排出的含水污泥(含水率为 98%~99%)进入 4 座 $1\,000\text{ m}^3$ 的污泥沉降池(直径 20.0 m),上清液进入 2 座 $1\,000\text{ m}^3$ 污水池,池底浓缩污泥(含水率为 97%左右)经污泥泵提升至离心脱水机进行脱水,脱水后污泥拉至环保堆放点。

3.3 工艺特点

1) 通过试验筛选与混凝反应药剂相适应的除油剂,向采出水加入特定的药剂,压缩污水胶粒的双电层、降低胶粒表面 ξ 电位,再通过高效旋流反应单元加强药剂反应强度、调整药剂投加时间间隔,破乳除油除悬浮物。从改变水化学环境的角度出发,控制系统腐蚀结垢,即可以提高调储沉降单元的除油效率,达到净化和调控水质的目的,同时又减少了净水药剂

投加量。

2) 针对采出水处理系统中的两级过滤反冲洗强度比较大,水量消耗大,进入回收水单元后导致处理系统运行能耗高。优化过滤反洗单元采用气水反冲洗^[7]和变强度联合反冲洗方式^[8],同时将回收水池液位和过滤器进水流量参与反洗控制,反冲洗分 3 个阶段进行。既保证对滤料表面截留的油污和悬浮物等杂质冲洗效果,又节水和降低滤料流失率。

3) 由于储罐直径大,瞬时排泥量较大,污泥沉降池采用间歇式污泥浓缩。在污泥沉降池中上部设置不同层位出水管,通过阀门自动控制,使污泥沉降池交替运行,减少了负压排泥对液位的冲击,提高了污泥沉降效果。

4) 为使采出水处理系统满足生产和维护等操作的需要及保障油田清洁生产,系统设置除油罐进水和调储罐出水超越管线,双滤料过滤器和多介质过滤器超越管线;同时设置 1 号处理站与 2 号处理站之间的调度联接管线。

4 主要工艺设备及构筑物

4.1 除油罐

容积 $15\,000\text{ m}^3$, 2 座,直径 30 m,高度 19.8 m,污水沉降时间 5~10 h,罐内采用喇叭口集配水方式,喇叭口沿除油罐横截面均匀布置。

$$\text{Oil}_{\text{进}} \leq 10\,000\text{ mg/L}, \text{Oil}_{\text{出}} \leq 3\,000\text{ mg/L};$$

$$\text{SS}_{\text{进}} \leq 1\,000\text{ mg/L}, \text{SS}_{\text{出}} \leq 500\text{ mg/L}。$$

4.2 调储罐

容积 $10\,000\text{ m}^3$, 2 座,罐直径 30 m,罐垂高 15.8 m,污水沉降时间 4~8 h,罐内采用喇叭口集配水方式,喇叭口沿调储罐横截面均匀布置。

$$\text{Oil}_{\text{进}} \leq 3\,000\text{ mg/L}, \text{Oil}_{\text{出}} \leq 200\text{ mg/L};$$

$$\text{SS}_{\text{进}} \leq 500\text{ mg/L}, \text{SS}_{\text{出}} \leq 200\text{ mg/L}。$$

4.3 污水反应罐

6 套,处理量 $350 \sim 400\text{ m}^3/\text{h}$,单元由旋流反应器、反应罐、管汇及辅助系统等几部分组成。

$$\text{Oil}_{\text{进}} \leq 250\text{ mg/L}, \text{Oil}_{\text{出}} \leq 20\text{ mg/L};$$

$$\text{SS}_{\text{进}} \leq 250\text{ mg/L}, \text{SS}_{\text{出}} \leq 20\text{ mg/L}。$$

4.4 混凝沉降罐

容积 $3\,000\text{ m}^3$, 2 座,直径 18.9 m,高度 11.9 m,并联运行,污水沉降时间 2~2.5 h。

$$\text{Oil}_{\text{进}} \leq 30\text{ mg/L}, \text{Oil}_{\text{出}} \leq 10\text{ mg/L};$$

$$\text{SS}_{\text{进}} \leq 30\text{ mg/L}, \text{SS}_{\text{出}} \leq 10\text{ mg/L}。$$

4.5 过滤缓冲罐

容积 3 000 m³, 2 座, 钢制拱顶罐, 直径 18.9 m, 垂高 11.5 m, 并联运行, 缓冲时间 3.0 h。

4.6 过滤器

1) 一级选用 18 台全自动双滤料过滤器, 滤料采用石英砂和无烟煤, 过滤器直径 4.0 m。

$Q: 125 \text{ m}^3/\text{h};$

$\text{Oil}_{\text{进}} \leq 15 \text{ mg/L}, \text{Oil}_{\text{出}} \leq 5 \text{ mg/L};$

$\text{SS}_{\text{进}} \leq 15 \text{ mg/L}, \text{SS}_{\text{出}} \leq 5 \text{ mg/L}。$

2) 二级选用 18 台全自动多介质过滤器, 滤料采用多种组合滤料, 过滤器直径: $\Phi 4.0 \text{ m}。$

$Q: 125 \text{ m}^3/\text{h};$

$\text{Oil}_{\text{进}} \leq 10 \text{ mg/L}, \text{Oil}_{\text{出}} \leq 2 \text{ mg/L};$

$\text{SS}_{\text{进}} \leq 10 \text{ mg/L}, \text{SS}_{\text{出}} < 5 \text{ mg/L}。$

5 处理效果

工程投产运行以来主要控制指标达到了预期要求, 高温净化水成功回用油田注汽锅炉。实际运行水质数据与控制指标对比见表 8。

表 8 处理单元水质 mg/L

项目	设计指标	考核指标	运行数据	
			2013.11	2018.05
除油罐进口	含油量	$\leq 10\ 000$	4 652	3 601
	悬浮物	$\leq 1\ 000$	475	386
调储罐进口	含油量	$\leq 3\ 000$	3 260	2 851
	悬浮物	≤ 500	377	270
调储罐出口	含油量	≤ 200	116	135
	悬浮物	≤ 200	95	94
反应单元出口	含油量	≤ 20	7.52	7.40
	悬浮物	≤ 20	8.62	7.97
一级过滤器出口	含油量	≤ 5	3.14	3.35
	悬浮物	≤ 5	3.36	3.78
二级过滤器出口	含油量	≤ 2	1.18	1.32
	悬浮物	≤ 2	1.67	1.41

从表 8 可以看出每级处理构筑物出水含油及悬浮物指标均达到了设计指标, 保证了下级离子交换除硬进水要求。

6 结 论

工程投产运行年可替代注汽锅炉用清水约 $1\ 095 \times 10^4 \text{ m}^3$, 节约清水费用 2 463.75 万元。可充分利用高温采出水热能, 年均节约天然气用量约 $5\ 475 \times 10^4 \text{ Nm}^3$, 节约天然气费用 5 365.5 万元。

采出水处理回用油田热采注汽锅炉给水, 可以实现污水的循环利用, 利用超稠油采出水的高温特性, 回用锅炉后可减少天然气用量。对防止环境污染, 加强资源再利用, 降低生产成本, 促进油田可持续发展, 具有显著的环保效益和经济效益。

参 考 文 献

- [1] 李志国, 孙森, 张建军, 等. 超稠油污水热化学处理技术应用研究[J]. 油气田环境保护, 2015, 5(3): 26-28.
- [2] 王爱军, 王月华, 赵胜, 等. 新疆油田采出水处理技术[J]. 油气田环境保护, 2003, 13(2): 11-14.
- [3] 唐丽. 离子调整旋流反应法污水处理技术在新疆油田的应用[J]. 承德石油高等专科学校学报, 2008, 13(2): 4-8.
- [4] 刘东明, 刘俊德, 马良. 风城超稠油污水处理效果的影响因素与对策[J]. 油气田环境保护, 2013, 24(4): 28-30.
- [5] 王鸽, 边田镇, 孙万里. 超稠油污水深度处理工艺技术[J]. 油气田环境保护, 2009, 19(增刊): 32-36.
- [6] 刘东明. 风城油田超稠油 SAGD 采出液高温密闭脱水技术[J]. 东北石油大学学报, 2014, 38(3): 87-95.
- [7] 夏福军, 任彦中, 隋向楠. 气水反冲洗工艺提高油田采出水过滤器再生效果[J]. 油气田环境保护, 2014, 24(4): 42-45.
- [8] 陈鹏, 陈忠喜, 白春云. 大庆油田采出水处理工艺技术现状及其认识[J]. 油气田地面工程, 2018, 37(7): 19-24.

(收稿日期 2018-09-13)

(编辑 李娟)

