

# 油田采出水处理工艺在降粘复合驱采出水配稀中的应用

张同哲

中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司河口采油厂, 山东 东营  
Email: zhangtongzhe.slyt@sinopec.com

收稿日期: 2021年8月2日; 录用日期: 2021年9月2日; 发布日期: 2021年9月9日

## 摘要

为了采用“全油田采出水配注技术”工艺,在降粘复合驱提高油气采收率应用,针对陈庄污水站出水中的总铁、硫化物、溶解氧等指标参数不能满足配聚用水水质的现状,在陈25配注站附新建采出水处理系统,对陈庄采出水站的出水进一步处理,使其达到采出水配母液、采出水稀释的目标。现场应用证明,新建采出水处理系统工艺流程简单,脱硫、除铁、除氧、除COD等效果显著,能够满足降粘复合驱要求,为胜利油田今后采出水配稀处理系统提供了借鉴。

## 关键词

采出水配稀, 降粘, 复合驱, 采出水处理

# Application of Oilfield Produced Water Treatment Technology in Produced Water Diluting in Viscosity Reduction Combination Flooding

Tongzhe Zhang

Oil Production Technology Institute of Shengli Oil Production Factory, Shengli Oilfield Company Limited, Dongying Shandong  
Email: zhangtongzhe.slyt@sinopec.com

Received: Aug. 2<sup>nd</sup>, 2021; accepted: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2021; published: Sep. 9<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

In order to adopt the process of total produced water polymerization and injection technology,

and improve oil and gas recovery by viscosity reduction & composite drive, it can't meet the present situation of produced water quality for preparing polymer according to the index parameters of total iron, sulfide and dissolved oxygen in the effluent of Chenzhuang sewage station. It is necessary to build a new produced water treatment system near Chen 25 injection station. The effluent of Chenzhuang sewage station is further treated to achieve the goal of produced water mother liquor and produced water dilution. The field application proves that the process flow of the new produced water treatment system is simple, and the effects of desulfurization, iron removal, oxygen removal and COD removal are remarkable. It provides a reference for the produced water polymerization and dilution system of Shengli Oilfield in the future.

## Keywords

Produced Water Polymerization and Dilution, Viscosity Reduction, Composite Drive, Produced Water Disposal

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着我国东部老油田开发进入后期阶段,原油开采越来越困难,开采效率越来越低,特别是东部油区一些稠油油藏,原油具有高比重、高粘度、高饱和压力、低凝固点等“三高一低”的特征,开发难度增大。配聚注聚开发,成为提高原油开采效率最直接最有效的方式之一[1]。而另一方面,采油作业区域所建的配注站和注入站,大多远离城市,基本上没有可用的清水市政供水管网,导致清水配聚与注聚开发难以实施;而拥有足量油田采出水却又无处可去,急需低耗高效油田采出水处理技术与工艺来解决配聚注聚的困境,实现采出水处理后达到配聚的水质要求。研究对石油采出水进行工艺处理,使其达到配聚用水的标准,对于配聚注聚开发提高石油采收率,提高石油开采经济效益具有十分重要的意义。此项研究成果不仅解决清水配聚用水难、用水贵的难题,同时也解决石油采出水去向的困境,很好地解决石油采出水无处可去而造成的环保问题。经过多方调研及多轮次的技术交流,多功能电消阳离子一体化水处理技术在处理配聚用污水方面,具有独特优势,该技术曾在冀东、辽河、长庆等油田应用[2],能够满足胜利油田河口陈 25 北降粘复合驱先导试验所需的采出水配聚要求,达到石油经济开采、水源合理调配、环境友好协同的目标。

## 2. 陈 25 区块采出水现状

胜利油田是一个东部老油田,稠油油藏遍布,年均稠油产量达到数百万吨,并呈逐步上升趋势。为了提高稠油采收率,油田勘探开发研究院和各采油厂,对不同区块的配聚与注聚开发,进入深入的研究,确立许多配聚注聚开发的区块目标,其中河口采油厂陈 25 区块是其中最典型的一个[3]。

陈 25 单元地层水以  $MgCl_2$  型为主,原始地层水矿化度较低,平均为 6266~11,400 mg/L。产出水矿化度较高,平均为 10,291 mg/L。该区块设计注入井 26 口,其中转注井 4 口。设计日配注量 2800  $m^3/d$ ,平均单井日注 108  $m^3/d$ ,年注入速度 0.08 PV。为减小层间差提高化学驱效果,共设计分层注聚井 22 口,通过配聚注聚,实现降粘复合均衡驱替,提高原油采收率,经预测提高采收率 10.4%,预计累积增油  $68.3 \times 10^4 t$ 。

介于陈 25 区块附近没有可用清水的市政供水管网,以罐车拉运的方式运送清水配聚,成本太高,据初步测算估计,每方清水加拉运成本,超过 30 元,成本高昂。综合研究决定,采用采出水配制母液、采出水稀释注入,设计三段塞注入方式。研究表明,配注采出水水质标准控制指标分别为:含油量  $\leq 50 mg/L$ ,

悬浮物含量  $\leq 10$  mg/L, COD  $\leq 500$  mg/L, 溶解氧含量 = 0 mg/L, 总铁含量  $\leq 0.5$  mg/L, 二价铁离子含量  $\leq 0.5$  mg/L, 硫化物含量 = 0 mg/L, 硫酸盐还原细菌(SRB) = 0 个/mL。

陈 25 区块配聚水源来于附近的陈庄注水站, 陈庄注水站外输水水质为含油量  $\leq 50$  mg/L, 悬浮物含量  $\leq 10$  mg/L, COD  $\leq 650$  mg/L, 溶解氧含量  $\leq 0.06$  mg/L, 总铁含量  $\leq 0.9$  mg/L, 二价铁离子含量  $\leq 0.8$  mg/L, 硫化物含量  $\leq 9$  mg/L, 硫酸盐还原细菌(SRB)  $\leq 60$  个/mL。除了含油量、悬浮物含量之外, 其它影响污水配聚的指标均不达标。

清水配聚则无水源可用, 拉运清水成本高昂; 污水配聚量足则水质达不到标准, 特别是污水中的二价铁离子  $\text{Fe}^{2+}$ 、硫离子  $\text{S}^{2-}$ , SRB 以及 COD, 是影响配聚粘度的重要因素, 因而, 引入多功能电消阴离子一体化污水处理技术, 把油田采出水处理到满足配聚水标准, 对于现场采用“全采出水配注技术”工艺, 实现采出水配采出水稀, 非常必要且势在必行[4]。

### 3. 配聚采出水处理系统

#### 3.1. 工艺流程

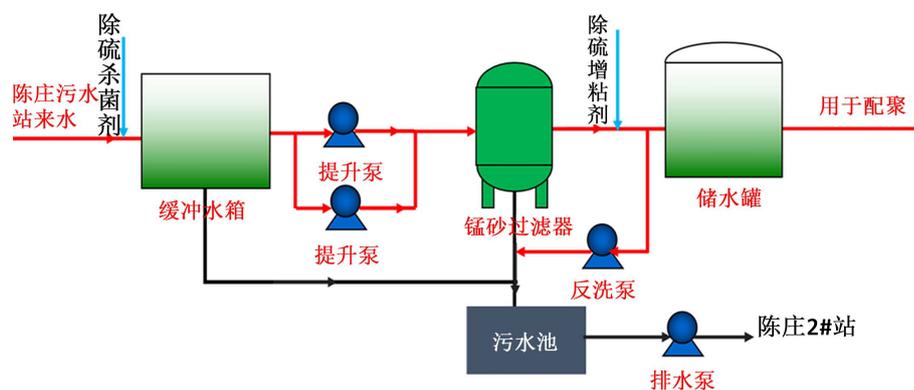


Figure 1. Process flow chart of Chen 25 polymer wastewater treatment

图 1. 陈 25 配聚污水处理工艺流程图

如图 1 所示, 主体工艺流程: 陈庄污水站来水首先进入缓冲水箱, 在缓冲水箱进水管线添加除硫杀菌剂和压缩空气, 水、气和药液在水箱内充分反应, 将污水中的二价硫去除, 二价铁氧化成三价铁, 经过沉降分离处理后的污水通过提升泵提升, 进入锰砂过滤器进行过滤, 去除水中的总铁, 处理后的达标水进入储水罐用于配聚。为保持水体的稳定性, 在储水罐进口添加除硫增粘剂。

辅助工艺流程:

排污: 锰砂过滤器、缓冲水箱排污进入污水回收池。

反洗: 反冲洗水来源可利用经装置处理后的水, 对锰砂过滤器进行反冲洗, 反冲洗排污进入排污池。

#### 3.2. 工艺原理

##### 3.2.1. 缓冲水箱工作原理

依靠曝气将硫化物氧化为稳定态的硫单质, 通过后续的过滤方法将其过滤去除, 利用曝气将二价铁离子氧化为三价铁离子, 将铁形成的胶体或絮体经后续过滤去除。辅以除硫杀菌剂, 可以彻底去除水中的二价硫、二价铁和细菌, 并降解污水中的 COD, 通过现场多次试验, 合理的除硫杀菌剂加药浓度为 30 mg/L。

##### 3.2.2. 锰砂过滤器工作原理

锰砂过滤器工艺流程: 曝气→接触氧化→吸附过滤→反洗

①曝气。根据水质情况采用压缩空气曝气方式，管道混合溶氧，稳定可靠。曝气法一方面是增加水中的溶解氧；二是驱除  $\text{CO}_2$ ，以提高水的 pH 值，使二价铁氧化成三价铁沉淀，然后再经过滤去除。②接触氧化。滤料采用天然锰砂滤料，其具有催化和过滤双层作用。天然锰砂的主要成分是二氧化锰( $\text{MnO}_2$ )，它是将  $\text{Fe}^{2+}$  氧化成  $\text{Fe}^{3+}$  的良好催化剂。③吸附过滤。经锰砂滤层后去除  $\text{Fe}^{3+}$  形成絮凝体( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) 沉淀物。

锰砂除铁机理，除了依靠它自身的催化作用外，过滤时在锰砂滤料表面逐渐形成一层铁质滤膜作为活性滤膜，能起催化作用。新生成的氧化铁作为活性滤膜物质，又参与新催化除铁过程，所以活性滤膜除铁过程是一个自动催化过程[5][6]。

## 4. 现场运行效果

### 4.1. 硫化物处理效果

Table 1. Sulfide detection data

表 1. 硫化物检测数据

取样点检测日期	来水	出水	去除率%
2020/9/14	2.73	0	100
2020/9/15	2.76	0	100
2020/9/16	2.36	0	100
2020/9/17	2.38	0	100
2020/9/18	2.46	0	100
2020/9/19	2.32	0	100
2020/9/20	2.51	0	100
2020/9/21	2.58	0	100
2020/9/22	2.52	0	100
2020/9/23	2.42	0	100
平均值	2.5	0	100

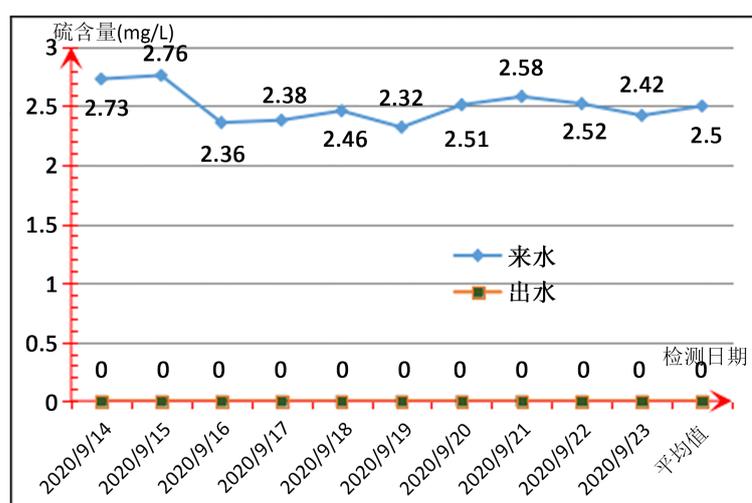


Figure 2. Comparison of sulfide before and after produced water treatment system

图 2. 采出水处理系统前后硫化物对比

表 1 及图 2 显示, 在来水硫化物含量平均达到 2.5 mg/L 的条件下, 出水硫化物未测出, 硫化物去除率 100%, 采出水处理系统脱硫效果稳定显著, 满足配聚原水无硫的要求。

## 4.2. 总铁处理效果

Table 2. Total iron detection data

表 2. 总铁检测数据

取样点检测日期	来水	出水	去除率%
2020/9/14	0.5	0.2	60
2020/9/15	0.5	0.2	60
2020/9/16	0.3	0	100
2020/9/17	0.5	0.2	60
2020/9/18	0.6	0.2	66.67
2020/9/19	0.6	0.2	66.67
2020/9/20	0.5	0.3	40
2020/9/21	0.4	0.2	50
2020/9/22	0.3	0.2	33.33
2020/9/23	0.5	0.2	60
平均值	0.47	0.19	59.67

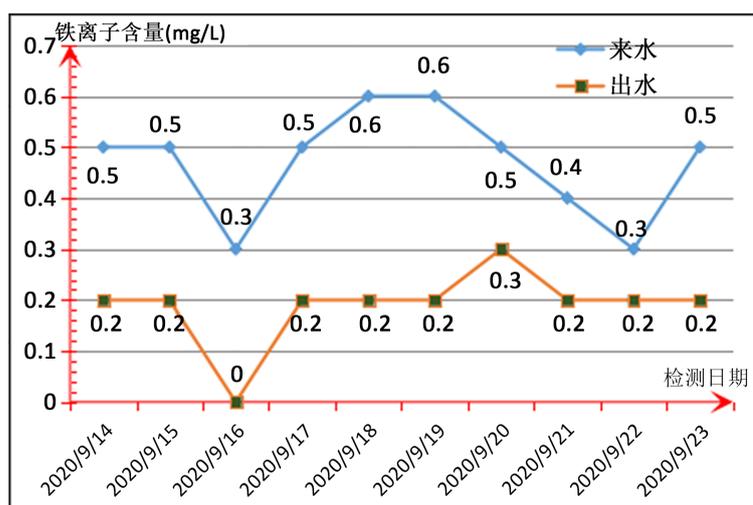


Figure 3. Comparison of total iron before and after produced water treatment system

图 3. 采出水处理系统前后总铁对比

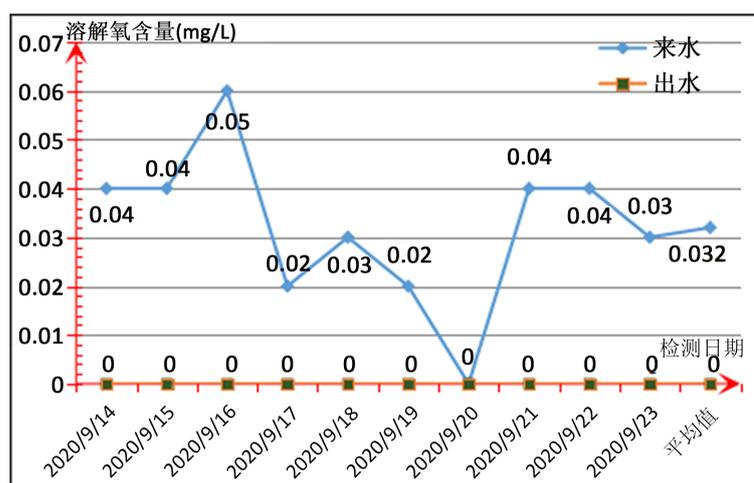
表 2 及图 3 显示, 在来水总铁离子平均含量 0.47 mg/L 条件下, 出水总铁平均 0.19 mg/L, 总铁离子去除率平均达到 59.67%, 采出水处理系统除铁效果较为稳定显著, 满足配聚原水对铁离子的限制要求。

## 4.3. 溶解氧处理效果

表 3 及图 4 显示, 在来水溶解氧平均含量 0.032 mg/L 的条件下, 出水溶解氧均未检出, 溶解氧去除率 100%, 采出水处理系统除氧效果稳定, 满足配聚原水对溶解氧的含量要求。

**Table 3.** Dissolved oxygen detection data**表 3.** 溶解氧检测数据

取样点检测日期	来水	出水	去除率%
2020/9/14	0.04	0	100
2020/9/15	0.04	0	100
2020/9/16	0.06	0	100
2020/9/17	0.02	0	100
2020/9/18	0.03	0	100
2020/9/19	0.02	0	100
2020/9/20	0	0	/
2020/9/21	0.04	0	100
2020/9/22	0.04	0	100
2020/9/23	0.03	0	100
平均值	0.032	0	100

**Figure 4.** Comparison of dissolved oxygen before and after produced water treatment system**图 4.** 采出水处理系统前后溶解氧对比

#### 4.4. COD 处理效果

表 4 及图 5 显示, 在来水 COD 平均含量 639.8 mg/L 的条件下, 出水平均 COD 为 151 mg/L, COD 平均去除率 76.39%, 采出水处理系统除 COD 效果显著而稳定, 满足配聚原水对 COD 限制要求所设定的条件。

**Table 4.** COD test data**表 4.** COD 检测数据

取样点检测日期	来水	出水	去除率%
2020/6/27	724	165	77.21
2020/6/28	570	132	76.84
2020/6/29	635	158	75.12
2020/6/30	675	160	76.30
2020/7/1	595	140	76.47
平均值	639.8	151	76.39

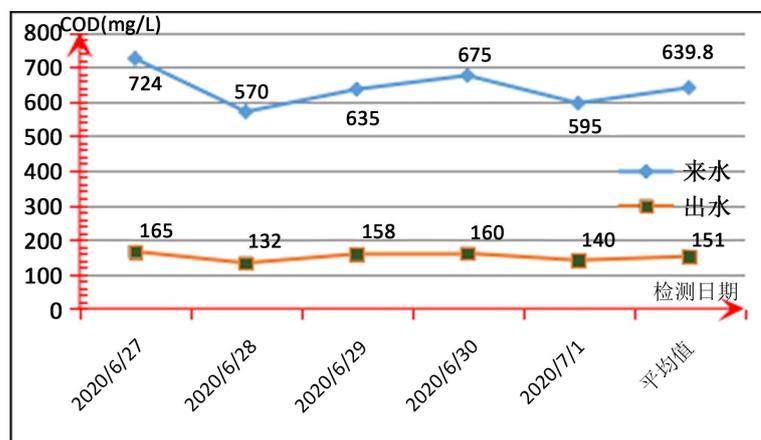


Figure 5. Comparison of COD before and after sewage treatment system  
图 5. 污水处理系统前后 COD 对比

#### 4.5. 处理后采出水配聚效果

Table 5. Laboratory data of Chen 25 Zhuju Station  
表 5. 陈 25 注聚站化验数据

化验日期	取样地点(井号)	井口粘度(mPa.s)	浓度检测(ppm)
2021/3/2	陈 15-XN17	36.40	
	陈 17-17	35.20	
	陈 17-X21	38.10	
	陈 11-XN21	37.70	
	母液		5171.08
2021/3/3	陈 13-13	39.60	
	陈 15-XN13	41.30	
	陈 11-N13	45.10	
	母液		5034.03
2021/3/4	陈 21-9	51.30	
	陈 19-9	49.40	
	陈 11-NX9	37.20	
	陈 13-XN9	40.60	
	母液		5106.01
2021/3/5	陈 15-XN9	43.8	
	陈 19-13	37.6	
	陈 21-13	41.2	
	陈 17-XN13	36.7	
	母液		4916.08
2021/3/6	陈 11-N13	37.3	
	陈 15-XN13	36.2	
	陈 13-13	39.3	
	陈 9-13	36.6	
	母液		4878.05
平均值		40.03	5021.05

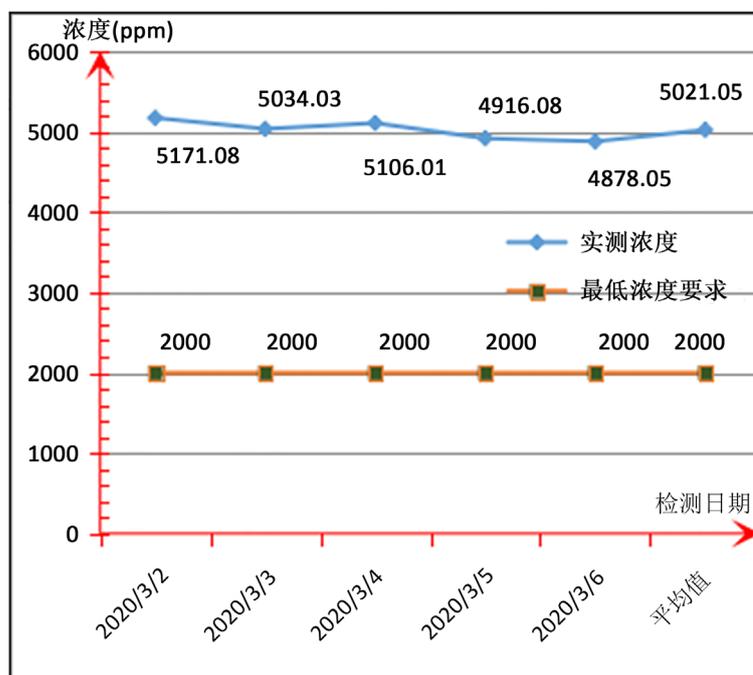


Figure 6. The effect diagram of concentration after produced water

图 6. 采出水处后配聚浓度效果图

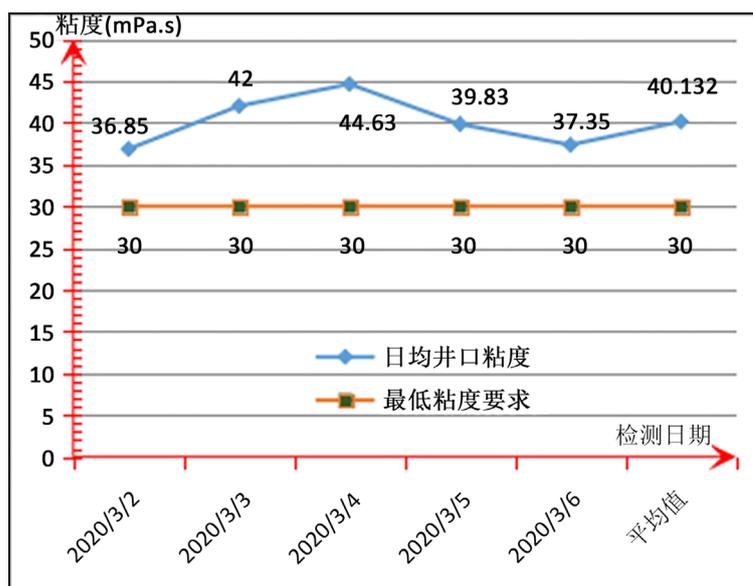


Figure 7. The effect diagram of cohesion after produced water

图 7. 采出水处后配聚粘效果图

综合表 5 及图 6、图 7 显示, 经过研究把多功能电消阳离子一体化水处理技术应用于石油采出水处理, 用处理后的达标水质进行配聚, 经过实测, 均达到单井井口聚合物溶液粘度  $\geq 30$  mPa.s (浓度  $\geq 2000$  Ppm) 的标准, 达到有效配聚注聚开发的目标。

## 5. 结论、效益及改进措施

现场应用证明, 陈 25 配聚采出水处理系统工艺简单, 仅采用水箱 + 锰砂过滤两级处理, 系统运行

稳定可靠, 脱硫、除铁、除氧、除 COD 等效果显著。

1) 处理后的采出水中硫化物、总铁、溶解氧和 COD 指标均满足配聚水水质要求。

2) 配聚后井口检测平均粘度为 40.03 mPa.s, 浓度为 5000 PPM 左右, 达到设计标准(单井井口聚合物溶液粘度  $\geq 30$  mPa.s, 浓度  $\geq 2000$  PPM), 为胜利油田今后采出水配采出水稀处理方向提供了良好的借鉴。

3) 采出水配聚产生的效益也是相当的可观, 陈 25 配聚污水项目的采出水处理成本为 2.88 元/立方米, 而罐车拉动清水配聚的成本, 约为 30 元/立方米左右, 每日 2800 立方米的采出水量, 每年能为该配聚项目节约成本近两千多万元; 处理后的采出水配聚, 提升陈 25 区块的油气采收率, 预测提高采收率 10.4%, 预计累积增油  $68.3 \times 10^4$  t, 综合效益明显。

此外, 现场工艺仍然可以进一步优化: 对水箱进行优化改造, 将锰砂过滤器功能集成在水箱中, 简化工艺流程, 减少现场占地。

## 参考文献

- [1] 杨立全, 姜涛, 武玉良, 郝玉龙. 关于提高联合站系统效率的探讨[C]//山东石油学会油气储运系统节能降耗技术交流会. 山东石油学会油气储运系统节能降耗技术交流会论文集. 烟台: 山东石油学会石油营销专业委员会, 2008.
- [2] 崔斌, 赵跃进, 赵锐, 等. 长庆油田采出水处理现状及发展方向[J]. 石油化工安全环保技术, 2009, 25(4): 59-61.
- [3] 党伟. 一体化预分水装置在稠油油田的现场试验[J]. 油气田地面工程, 2019, 8(38): 19.
- [4] 吴应湘, 许晶禹. 油水分离技术现状及发展趋势[J]. 力学进展, 2015, 6(45): 56.
- [5] 杜杰. 低渗透油田采出水处理技术现状及改进[J]. 内蒙古石油化工, 2015, 5(2): 99-100.
- [6] 崔彬澎. 集输系统联合站动力设备运行现状分析[J]. 管道技术与设备, 2004(1): 26-28.