

工程技术交流会文集

主编 刘喜林

副主编 李军生 王 威



NEUPRESS
东北大学出版社

内 容 简 介

本书汇集了辽河油区稠油油藏工程技术方面的优秀论文 38 篇。作者都是长期从事稠油油田开发的技术骨干力量,具有丰富的现场实践经验和理论研究水平。文中提及的非混相驱转换方式试验,油层防砂、微生物和化学吞吐等综合配套技术,可以减少作业费用的注、冲、防一体不动管柱工艺技术,改善注入水水质,注水井多级分注和油层深部调剖技术等多种工艺技术在国内外具有较强的影响力,可供从事石油地质、油田开发、矿场生产的科研技术人员和石油院校有关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程技术交流会文集/刘喜林主编. —沈阳:东北大学出版社,2002.6
ISBN 7-81054-769-0

I. 工… II. 刘… III. 石油工程-工程技术-文集 IV. TE-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 031896 号

出 版 者: 东北大学出版社

(邮编: 110004 地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号)

出 版 人: 李毓兴

印 刷 者: 沈阳农业大学印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社发行

开 本: 787mm×1092mm 1/16

字 数: 490 千字

印 张: 19.625

印 数: 2000 册

出版时间: 2002 年 6 月第 1 版

印刷时间: 2002 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 孟 颖

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

定 价: 58.00 元

前言

为了总结辽河油田近几年来在开发实践中形成的新的工艺技术,促进各单位之间的相互交流,2001年4月召开了辽河油田分公司工程技术交流会。会上,就33项工艺技术进行了交流。各单位在介绍经验的同时,也提出了今后的工作方向。

辽河油田是国内最大的稠油生产基地。限于稠油的特殊性,对生产工艺的要求很高,特别是进入油田开发后期,开发难度越来越大,面临着更多的挑战;而新技术的应用是其今后上产、稳产的必由之路。《工程技术交流会文集》浓缩了近几年辽河油区以稠油为主的特种油藏开发工艺技术方面的科技成果,忠实地记录和反映了科技人员对特种油藏开发认识、探索与创新的全过程,是石油工作者群策群力的集体智慧的结晶。书中汇集了以本次工程技术交流会为主的优秀论文38篇,内容涉及非混相驱转换方式试验;以提高油层纵向动用程度减少无效注汽为目的的油层防砂、微生物和化学吞吐等综合配套技术;可以减少作业费用的注、冲、防一体不动管柱工艺技术;改善注入水水质,注水井多级分注和油层深部调剖技术;以及节电等多种工艺技术。这些技术的应用解决了很多油田生产中的难题,为辽河油田持续稳定发展做出了重要贡献。本书在向国内同行提供借鉴与交流的同时,诚望各位专家对揭示的辽河油区稠油油藏开发中的问题给予技术支持和帮助,以共同提高特种油藏的开发水平。

在对全书统一编写要求的基础上,编者对原论文提出了修改意见,并对部分论文进行了较大改动,浓缩了精华。此外,《特种油气藏》编辑部刘兆芝、徐云杰、常汉章、方赞等同志为本书的出版做了大量工作,在此深表谢意!限于篇幅,还有许多优秀论文未能入选本书,敬请各位作者谅解!由于时间仓促、水平有限,书中难免存在不足之处,请广大读者理解并批评指正。

编 者

2002年3月

目 录

污水深度处理及综合治理技术·····	刘喜林	1
辽河油田综合防砂配套工艺技术·····	阚新伟等	13
海外河油田堵水技术研究与应用·····	吴宝华等	33
制氮注氮技术在辽河油田的应用·····	黄淑娥等	40
套损井修复技术在欢喜岭采油厂的应用·····	于国文等	46
地层裂解降黏技术在曙一区超稠油藏的应用·····	南晓敏等	54
全自动节能燃气火管炉在冷家油田的应用·····	廖周川等	62
弱凝胶调驱技术在青龙台油田龙 11 块的应用·····	邱衍辉等	67
多级分注工艺技术的应用·····	姜 伟等	76
滩海油田密闭储油及天然气回收·····	杜月明	83
高凝油田化学采油技术研究与应用·····	史国蕊等	87
高凝油田深度调剖技术研究应用·····	卢 凯	91
稠油物化降黏技术研究与应用·····	张义祥等	102
智能找堵水技术应用效果分析·····	顾元洋等	105
齐 40 块 70m 井距蒸汽驱先导试验区阶段效果评价·····	王 威	109
FO-152 稠油注汽热采封隔器的研制与应用·····	陈铁铮等	120
稠油污水处理的试验研究·····	谢加才等	123
高效净水药剂的研究与应用·····	谢加才等	129
稠油掺活性水降黏开采技术可行性分析·····	刘喜林等	135
高效聚合物调剖堵水剂延缓凝胶作用机理研究·····	刘喜林等	139
稠油乳化降黏开采用表面活性剂的筛选·····	刘喜林等	143
稠油降黏方法概述·····	刘喜林等	147
调剖用延缓交联剂 MLH-1 的研制与应用·····	刘喜林等	152
流动凝胶深度调驱堵水技术的研究与应用·····	侯志杰等	156
牛心坨油田 T28-36 井组微生物驱试验·····	肖立新等	169
辽河油田水力压裂配套技术新进展·····	刘德铸等	181
辽河油田综合测试技术·····	赵 鹏等	192
曙三区高压预包砂充填人工井壁防砂技术·····	郭明刚	200
燃煤-燃气介质炉保温伴热工艺技术·····	薛海晖等	213
中频电加热采油技术·····	林 军等	217
超稠油开发中的钻井完井技术·····	杨立强等	223
超稠油注采冲防一体管柱研究及应用·····	余五星等	233

提高稠油多轮次吞吐效果配套技术·····	毕文亮等	244
丛式井设计、控制技术 & 监督体制在辽河油田的应用·····	董明利等	257
锦 90 块兴 1 组非混相驱扩大试验 ·····	张恩臣等	265
微生物采油技术·····	李牧等	278
清防蜡配套技术在油田生产中的应用·····	范玉平等	294
稠油分层注采工艺技术·····	宋英男	302

污水深度处理及综合治理技术

刘喜林

(辽河油田分公司技术发展处, 辽宁 盘锦 124010)

摘 要 随着稠油开发的深入, 含水不断上升, 稠油污水过剩的矛盾越来越突出, 稠油区块需要大量的清水用于热采锅炉, 稠油污水处理后回用于热采锅炉是非常必要的。针对稠油污水特点, 对稠油污水回用于热采锅炉处理技术进行了探讨。分析了稠油污水处理特点和稠油污水水质特点, 并针对稠油污水深度处理及回用中遇到的 4 个技术难题(即除油、除悬浮物、除硅和软化技术)进行研究。通过现场试验, 达到了热采锅炉用水指标, 并已回用热采锅炉给水。实践证明, 稠油废水回用热采锅炉技术上是可行的, 不但有较大的经济效益, 并有更大的社会效益。

关键词 油田污水; 污水深度处理; 水质; 除油; 除悬浮物; 除硅; 软化技术

一、污水处理工艺概述

辽河油田现有污水站 26 座, 其中稠油污水处理站 11 座、稀油污水处理站 9 座、高凝油污水处理站 5 座, 超稠油污水处理站 1 座, 污水处理总设计规模约 $17 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。目前, 日产含油污水总量约 $14 \times 10^4 \text{ m}^3$, 其中稠油污水约 $6.1 \times 10^4 \text{ m}^3$, 稀油污水 $4.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、高凝油污水约 $3.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、特稠油和超稠油 $0.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。污水生产回注总量约 $7.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 作业、洗井等用水 $0.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。剩余污水总量约为 $6.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 主要是稠油污水。预计 2005 年将达到 $16 \times 10^4 \text{ m}^3$, 过剩水量还将增加, 污水过剩的矛盾越来越突出。

1. 水质特点

偏碱性, 中等硬度, 中等矿化度, 油、悬浮物的质量浓度高。高凝油污水除温度较高外, 水性基本与稀油污水相似。稠油污水与稀油污水相比, 又具有下面特性, 加大了处理难度。

① 水质成分复杂, 含多种有机物质、无机物质和杂质, 除自身的胶质沥青质外尚携带较多的泥砂, 在开采过程中又往往加入各种化学药剂, 使稠油污水的成分更复杂。

稠油污水中不仅含有大量的阳离子(如 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{2+} 等)和阴离子(如 Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- 等), 它们会影响稠油污水的缓冲能力、含盐量和结垢倾向, 而且还含有少量的不同的重金属的化合物, 如 Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Ag 和 Zn 等的化合物。另外有些稠油污水中还含有微量的放射性化学物质如 K^{40} , U^{238} , Th^{232} , Ra^{226} 。镭可以与钙、钡、锶等离子共沉积形成碳酸盐和硫酸盐垢。

稠油污水中自然存在的有机化合物主要有脂肪烃、环烷酸、芳香烃、极性化合物和脂肪酸等。在不同的油田, 这些化合物的相对含量和相对分子质量分布变化很大。

在采油过程中投加了大量的化学药剂, 如: 降黏剂等。

② 悬浮物的质量浓度较高, 在水中稳定, 这些颗粒物不能通过沉降方法分离。

③ 乳化油质量浓度高。稠油污水易形成以微小的油粒为中心的水包油乳状液。由于稠

油污水中稠油密度高、黏度大、胶质和沥青质的质量浓度高,造成原油与水密度差小;胶质和沥青质具有天然乳化性质,给水中油粒聚集增加了困难。

④ 污水中含油黏度大,从水中分离出的原油黏度高,给原油回收也造成困难。

⑤ 温度较高(60~90℃)。

⑥ 色度较高。

⑦ 多变性。由于采油过程以及管理等方面的原因,稠油污水水质水量变化较大,具有多变性。以欢四联为例对水中的油和悬浮物进行了调查。结果见图1和图2。

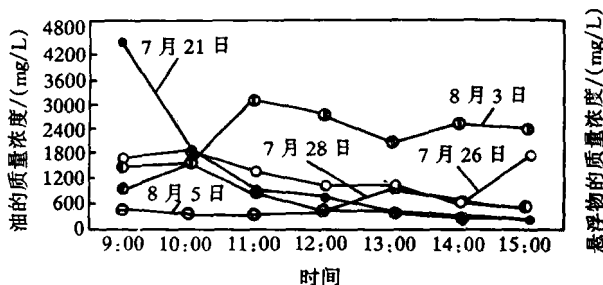


图1 油含量随时间的变化

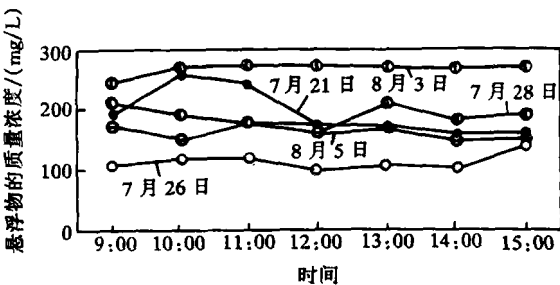


图2 悬浮物含量随时间的变化

2. 污水处理工艺

(1) 处理流程

根据辽河油田含油污水特性和对水质的要求,建立了两类处理流程。

① 常规处理流程(欢一联等老站)。采用三段处理工艺,即一段自然沉降除油,二段混凝沉降除油、除悬浮物,三段石英砂过滤。原理流程如图3所示。

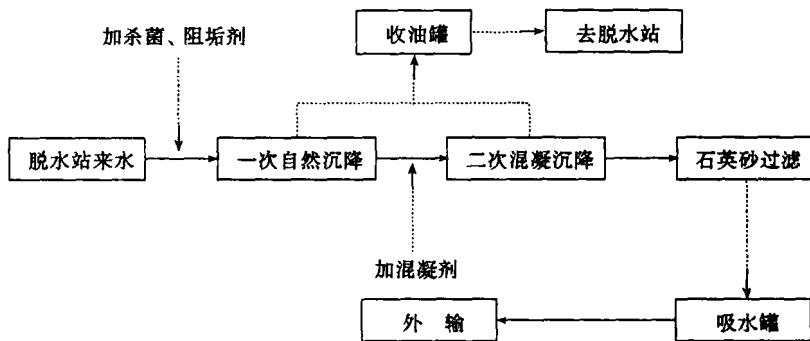


图3 常规处理流程

② 深度处理或稠油污水站的处理流程(稠油站、兴二联等)。目前,普遍采用四段或五段处理流程,即混凝沉降、API或CPI(粗粒化)、浮选、粗滤、精滤,个别站采用多级过滤。原理流程如图4所示。

(2) 主要处理设备

① 沉降设备:自然沉降罐、混凝沉降罐、斜板沉降罐。

② 浮选设备:诱导浮选机、溶气浮选机。

③ 过滤设备:压力砂滤罐、核桃壳过滤罐、双滤料过滤罐、单阀砂滤罐(重力式)、金钢砂过滤罐、纤维球过滤罐、活性炭吸附罐等,大部分是手动操作。

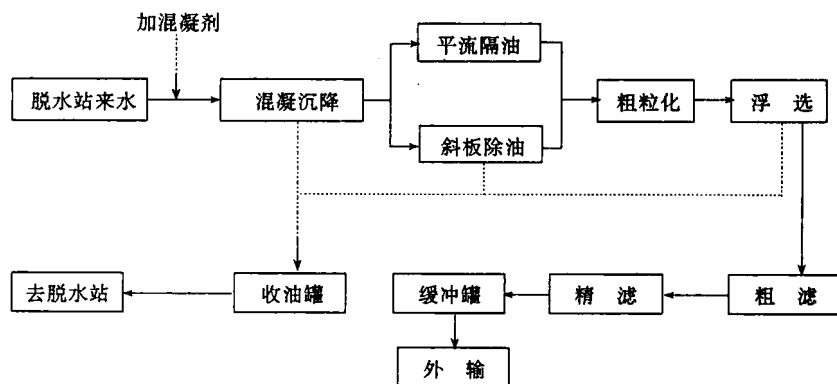


图4 深度处理或稠油污水站的处理流程

3. 水质现状

辽河油田污水处理全部采用常规处理工艺，加上老系统腐蚀老化等原因，出口水中油的质量浓度为 $5\sim 30\text{mg/L}$ ，悬浮物的质量浓度为 $10\sim 70\text{mg/L}$ 。只能满足中、高渗油藏注水标准要求。

二、污水回用的必要性

辽河油田污水过剩的矛盾越来越突出。污水过剩主要集中在锦采、欢采、曙采、冷东、特油等稠油油田，占总过剩水量的 85% ，这也是稠油油田实现注采平衡的重要因素。截至2000年6月，暂时采取无效注水的办法，缓解污水过剩的矛盾，但无效注水受成本高、压力上升快、选层困难等方面的制约。从2001年开始每年将增加成本费用1亿元。若按目前水质外排，COD将超过外排标准6倍，正常排污费5000~6000万元（不计罚款费用）。随着辽河流域综合治理的开展，污水排放受到严格控制。另一方面，稠油热采大量使用清水。由于地表水水质较差，所以生产和生活用水量使用地下水，过量的开采，使地下水位急剧下降。生产和生活用水量与日俱增，供水严重不足。因此，对稠油废水进行处理回用，是非常必要的，具有可观的经济效益和巨大的社会效益。

以 $4.5 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 稠油废水深度处理回用热采锅炉为例，进行污水回用经济效益分析。

热能的利用节约9386万元/a（稠油污水平均温度 55°C ，清水温度 15°C ，燃料油1000元/t）；排污费节省163万元/a（达标外排费0.1元/ m^3 ，暂不计污染费）；回收原油费节约845万元/a（原油1200元/t）；节省清水资源费2463万元/a（水价1.5元/ m^3 ）。合计节约13307万元/a。

废水处理运行费3.5元/ m^3 ，年运行费用5748万元/a。年可创经济效益7559万元。

从环境和社会效益看，既减少废水外排污染环境，又节省了大量清水资源，为减缓日益短缺的淡水资源，提供一条可行途径。

三、开展污水深度处理技术攻关所取得的成果

近几年，辽河油田根据稠油污水的特点对稠油污水深度处理回用热采锅炉和外排的工艺

流程、关键处理工艺、处理设备进行了大量的试验研究,部分工艺进行了工业化试验,并与国内外大公司进行了广泛的技术交流与合作,对污水深度处理的工艺认识在逐渐加深,取得了很多宝贵的经验。开展了 COD 组成分析与处理技术研究;化学氧化方法(臭氧、二氧化氯、氯气等)去除 COD 技术研究;生物方法去除 COD 技术与工程实践;活性炭除油、悬浮物技术室内研究、现场试验与工程实践;强酸树脂、弱酸树脂软化技术与试验;膜处理技术与试验;同时根据不同水质特点开展了欢三联、欢四联、特油一号站等站的中试工作,取得了突破性进展,污水深度处理后进热采锅炉获得了成功,为辽河油田稠油污水综合治理打下了基础。

1. 特稠油污水深度处理后进锅炉试验

试验目的为确定超稠油污水深度处理工艺流程,并进锅炉试验,检验超稠油污水水质对锅炉炉管结垢的影响。试验规模为 $240\text{m}^3/\text{d}$,进 9.2t/h 的注汽锅炉试验。

针对稠油污水深度处理及回用中遇到的技术难题,开展了 3 年的技术攻关,主要针对于除油、除悬浮物、除硅、软化 4 个技术难题。开发了如图 5 的稠油污水深度处理及回用技术工艺。试验的主要内容如下。

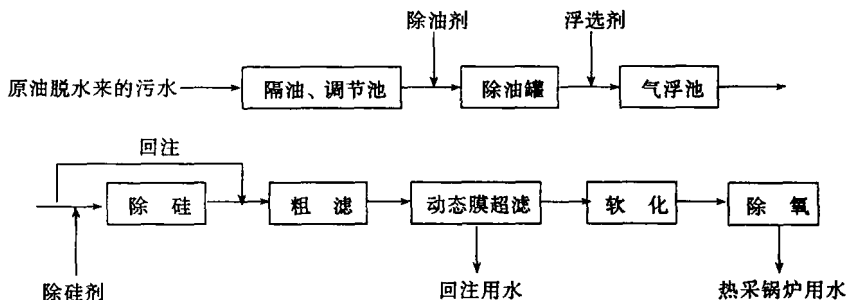


图 5 稠油污水深度处理及回用工艺流程

(1) 隔油、调节

由于稠油废水客观上存在水质、水量波动。在工艺设计过程中,必须充分考虑这些变化因素的影响,并尽量使处理工艺在相对均衡稳定的状态下运行。可适当增大调节罐容积进行均质均量的调节,并回收浮油。

(2) 除油罐

经自然沉降后的稠油污水可浮油已大部分分离出来,污水中的乳化油通过自然沉降已不可能再次分离。现场观察,沉降罐出水呈深褐色,放置半月无上浮物及沉降物产生。因此,必须采用加药破乳的方法使其分离。

破乳剂的选择必须满足:破乳剂只对污水中的原油起破乳、凝聚作用,而对污水中的悬浮物极少产生混凝作用,这样达到了油和泥分离的目的。这一创新的技术思路也是取得成功的关键所在。

采用新型除油剂 HF-LC,投加质量浓度为 $50\sim 200\text{mg/L}$,除油罐中不形成可沉物,说明除油剂对悬浮物不起作用,悬浮物的部分去除只是除油过程中的黏附作用。这样,经隔油去除可浮油后的污水进入沉降罐,污水中的乳化油在除油剂的作用下破乳,迅速上浮,达到

了油、泥的分离效果,为后续悬浮物及污泥的脱水创造了有利条件,同时回收了原油。图6是沉降罐的现场实测数据,测定经除油剂处理后的污水含油、悬浮物情况。

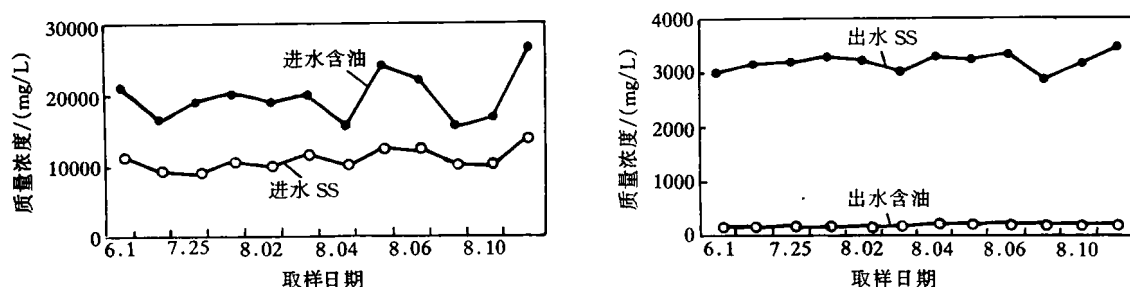


图6 除油剂现场使用效果

从图6中可知,经除油剂处理后,来水稠油的质量浓度从20000mg/L降至150mg/L,去除率高达99%以上。悬浮物的质量浓度从10000mg/L降至3000mg/L。应该说明的是,由于含油量高,且大部分以乳化油的形式存在,干扰了悬浮物的测定。同时不可否认,在除油过程中部分悬浮物黏附于稠油中随稠油一并收集去除。从近半年的连续工程现场观察可知,除油罐中不形成可沉物,说明除油剂对悬浮物不起作用,悬浮物部分去除的只是除油过程中的黏附作用。

(3) 气浮

气浮工艺是含油污水处理中行之有效的工艺。图7是超稠油污水处理工程应用气浮的处理结果。从图7可知,油的质量浓度从50mg/L降至5mg/L,悬浮物的质量浓度从700mg/L降至30mg/L。

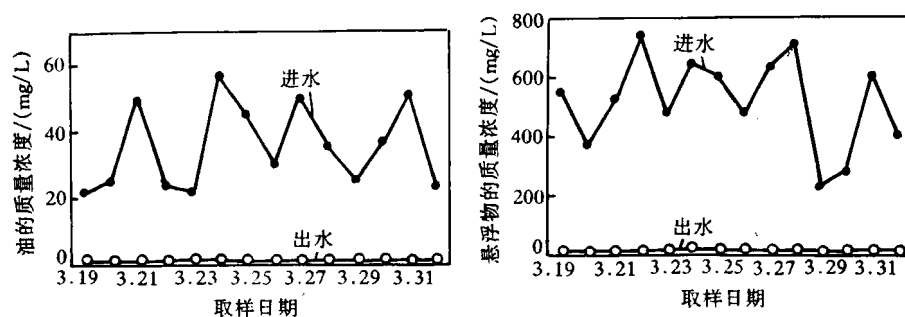


图7 加压溶气气浮净水效果

针对传统的溶气气浮的易堵塞,高水温溶气效果差的缺点,采用气液多相溶气泵(德国进口EDUR泵)技术,解决了稠油污水气浮易堵塞,高水温溶气效果差的缺点,配合自主开发的上行式链板刮渣机组合工艺,成功地解决了高温稠油污水悬浮物的去除问题。和传统的加压溶气气浮技术相比,该气液多相泵“射流气浮”技术省却了溶气罐、空压机、稳压罐、回流泵、溶气释放头,其工程造价低,运行费用低,操作维护简单。图8是加压溶气气浮和气液多相泵气浮工艺在相同进水水质情况下的出水水质的对比。尽管加压溶气气浮回流比为20%,气液比为15%,而气液多相泵回流比为15%,气液比10%,气液多相泵气浮的出水水质明显优于加压溶气气浮的出水水质。

(4) 初级过滤

经气浮处理后的出水满足常规过滤的进水水质条件。过滤介质为级配0.2~16mm的石

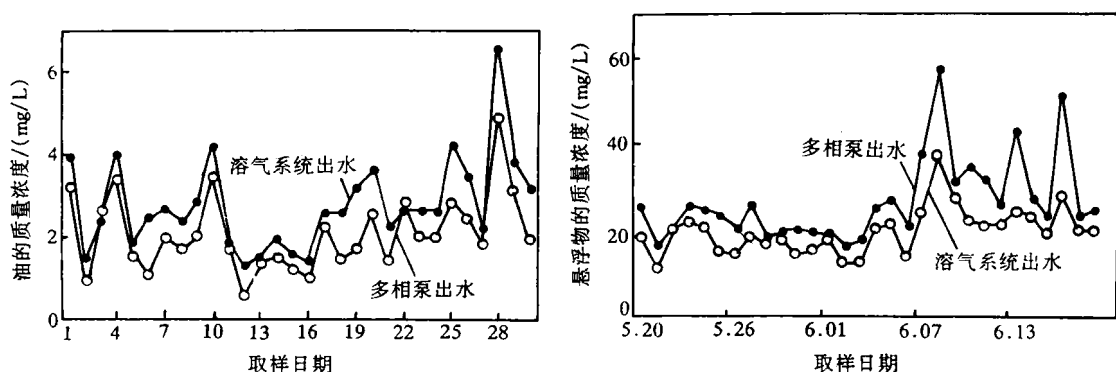


图8 加压溶气气浮和多相泵射流气浮效果对比

英砂,结果如图9所示。从图9可以看出,过滤后出水油的质量浓度小于 2mg/L ,悬浮物的质量浓度小于 10mg/L 。由于前段气浮处理出水的稳定性,滤料没有发现被污染的现象。

(5) 化学除硅

除硅装置由混合、反应、沉淀三部分组成。 pH 值调节部分的混合采用管道静态混合器,除硅工序和絮凝工序的混合采用调速搅拌机,达到混合、反应的双重目的。在沉淀部分,沉淀水平流速在 $1\sim 5\text{mm/s}$,在出水部分增设斜板或斜管。和常规除硅工艺流程相比,采用化学方法去除污水中的溶解性硅,克服了污水中高浓度有机污染物对除硅工艺的影响。采用镁剂和镁盐除硅工艺,在碱性条件下,污水中的溶解性硅通过和镁剂或镁盐反应形成硅酸镁沉淀物,在除硅装置的沉淀池中去除。除硅装置由混合、反应和沉淀三部分有机地组成一体。除硅药剂有 pH 值调节剂、除硅剂、絮凝剂。药剂的混合和反应采用水力和机械有机结合。原水(杜84外输水)硅的质量浓度平均值为 182.5mg/L ,经化学沉降除硅后,污水中硅的质量浓度降为 40mg/L 左右,达到了注汽锅炉的水质要求(见图10)。

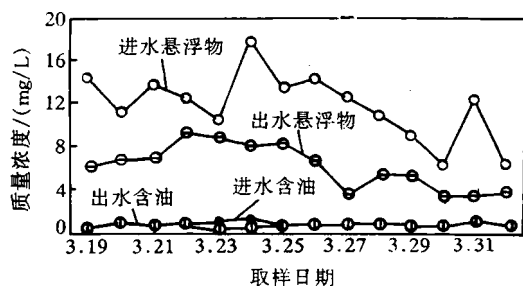


图9 初级过滤效果

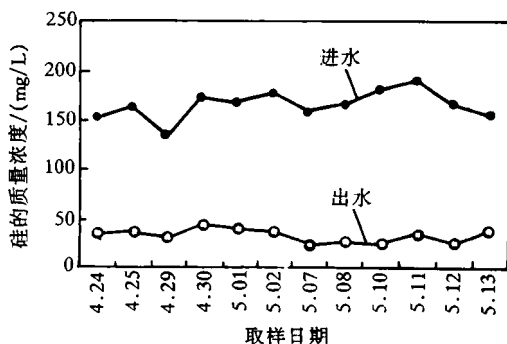


图10 化学除硅效果

(6) 精细过滤除悬浮物

采用硅藻土作为过滤介质,在滤元上形成一层厚度为 $1\sim 5\text{mm}$ 的过滤层,当污水通过硅藻土过滤后截流污水中的悬浮物。当硅藻土过滤前后的压差达到一定值后,通过反洗或干渣脱膜,截留悬浮物的硅藻土脱落,重新开始涂膜,实现动态膜过滤。硅藻土粒径为微米级,涂膜量为每平方米过滤面积不超过 1.0kg 。过滤单元(滤元)为滤布,滤布材质为丙纶和涤纶,采用特殊的滤布孔隙率和孔隙结构。超滤机采用板框结构,一块为布水框,一块为过滤框,布水框和过滤框组成一个过滤单元,滤元(滤布)放置在中间。采用下侧面进水上侧面出

水的进出水方式。超滤机的压紧方式为液压结构。处理结果如图 11 所示。从图 11 可以看出,经硅藻土动态膜精密过滤,出水中油和悬浮物的质量浓度稳定值小于 2mg/L,预涂膜时间为 15min,脱膜时间 30min,压差控制在 0.2MPa。过滤周期为 10~15h。

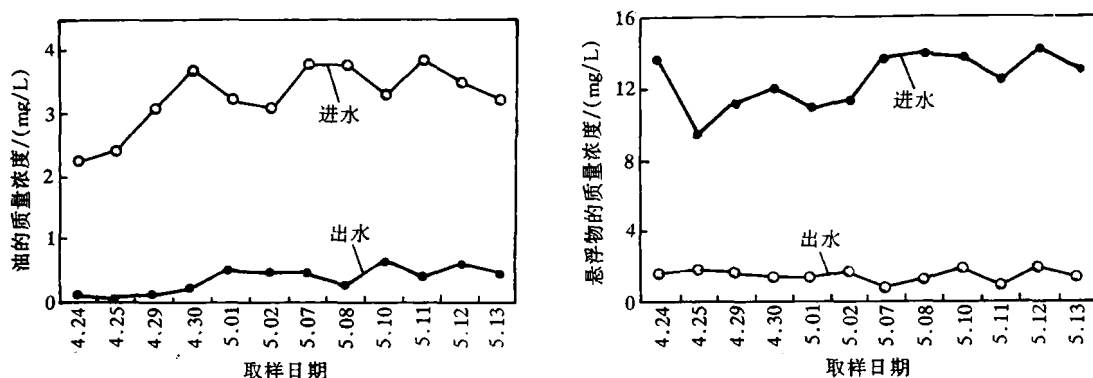


图 11 硅藻土动态膜精密过滤效果

(7) 离子交换软化

原水的平均硬度为 171mg/L,经过化学除硅后,污水硬度降为 60mg/L,中试试验过程中,曾经采用大孔强酸阳离子交换树脂对污水进行软化,结果发现当树脂被污水硬度饱和后,无论采用何种再生方式(包括盐水和盐酸)都不能恢复其软化污水的能力,这就说明大孔强酸阳离子交换树脂与污水中的有害物质(可能是污水的 COD 或悬浮物)结合力较强,一旦被污染中毒,就必须重新更换新树脂。为此,在试验后期全部采用大孔弱酸阳离子交换树脂对污水进行软化除硬,硬度基本达到检不出的程度,并采用酸再生碱转型的方式对树脂进行再生,结果发现即便树脂被污染,也可以通过树脂的收缩膨胀过程恢复其软化除硬能力。大孔弱酸阳离子交换树脂的酸碱转型膨胀率为 65%,而大孔强酸阳离子交换树脂的酸碱转型膨胀率仅为 5%。

(8) 稠油污泥脱水

稠油污泥含水量高,一般都在 95% 以上,并含有大量的稠油,含油量在 20% 以上,污泥流动性能差,泥、油、水相互包裹在一起,三相分离困难。由于稠油污泥含水率高,必须采取机械脱水的方法将稠油污泥脱水。而常规的重力浓缩和机械脱水不能解决稠油污泥的脱水问题,主要原因是稠油污泥中原油含量高,污泥黏度大,脱水机械如带式压滤机和离心机等不能正常工作。另外,稠油污泥中组成污泥的悬浮物密度和水接近、粒度细、靠重力和离心力不能将其和水分离。

污泥主要来源:沉降罐污泥、气浮浮渣和沉泥、过滤及冲洗水污泥和除硅污泥。稠油污泥脱水及输送流程见图 12。

为降低稠油污泥的黏度和含油量,在除油罐中加入水相除油剂 HF-LC。该除油剂对污水中的稠油产生破乳、凝聚作用,而对悬浮物不产生作用,以达到油、泥分离的效果,尽可能回收污水中的原油。通过“先除油、后除泥”,即回收污水中的原油,从源头减少稠油污泥中油含量,使稠油污泥中的油含量控制在 5% 以内,由此改变了稠油污泥的性质。

通过减少稠油污泥中的油含量,改变了稠油污泥脱水的条件。针对稠油污泥中固体颗粒粒径细、密度和水接近的特点,开发的稠油污泥脱水装置采用自动拉板厢式板框压滤技术。

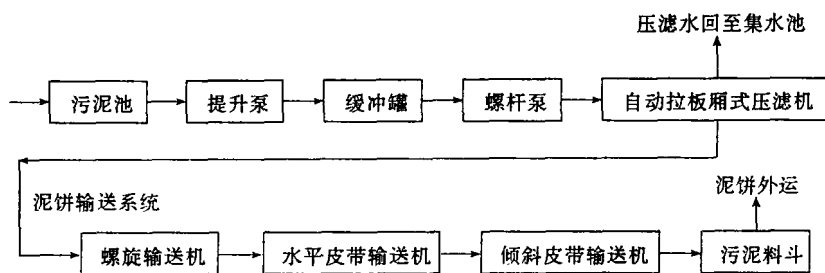


图 12 稠油污泥脱水及输送系统

污泥脱水结果如图13。从图13可知，浮渣含水从95.2%左右降至65%，脱水后的污泥形成泥饼，可装车外运。脱水后的泥饼和煤按1:3的比例混合燃烧，其热值在17.138kJ和煤的热值17.974kJ相比，没有明显下降。工程实践证明，采用“先除油、后除渣”的水处理工艺，在保证出水水质的同时，为稠油污泥的脱水提供了前提条件。

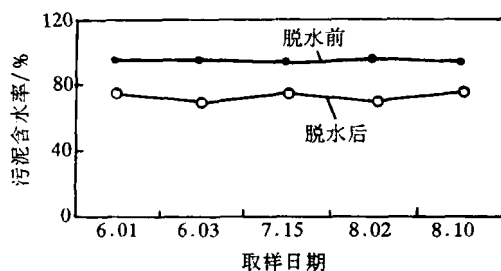


图 13 超稠油污泥脱水效果

通过试验可以初步得到以下结论。

① 处理后水质经检测达到了注汽锅炉的水质要求（见表1）。

表 1 超稠油污水深度处理试验结果

参 数	进热采炉指标	试验结果	参 数	进热采炉指标	试验结果
总铁的质量浓度/(mg/L)	≤0.05	0.05	总碱度/(mg/L)	≤2000	1800
SiO ₂ 的质量浓度/(mg/L)	≤50	40	油和脂的质量浓度/(mg/L)	≤2	1.0
总硬度/(mg/L)	0.1	检不出	TDS的质量浓度/(mg/L)	≤7000	4500
悬浮物的质量浓度/(mg/L)	≤2	1.5	pH值	7.5~11	8

② 先除油，后除悬浮物流程设计合理，污泥含油率低，污泥脱水容易。含水率为99%的污泥，经过污泥脱水单元可以将含水率降为65%。

③ 动态膜超滤单元可以将污水悬浮物的质量浓度从12mg/L降到2mg/L，动态膜超滤机的工作周期为10~12h。

④ 树脂软化单元采用大孔弱酸阳离子交换树脂可以彻底根除污水硬度，其工作周期在200h以上，同时可以保证注汽锅炉对污水中铁的质量浓度的要求。

⑤ 注汽锅炉解体后，无腐蚀、结垢现象。

2. 欢三联试验

为了达到锅炉用水标准，为污水进锅炉工程做准备，开展了欢三联中试工作。其设计规模为500m³/d。

试验流程为：原油脱出水→调节水箱→CPI隔油池→浮选机→核桃壳过滤器→双滤料过滤器→强酸钠离子软化器（大孔弱酸树脂软化器）→出水。

可以得到以下试验结论。

① 设计试验流程能够适应欢三联水质特点, 处理后水质中油的质量浓度可达到 1.5 mg/L, 悬浮物的质量浓度可达到 2mg/L(见表 2)。

② 强酸钠离子树脂 001×7 不适用于软化欢三联新站含油污水, 主要原因是由于该水总碱度较高, 含量约为 2500mg/L 左右, 水中含钠、钾离子的质量浓度较高, 不利于钙和镁离子交换。采用大孔弱酸树脂 D113 软化, 出水硬度检不出。

③ 双滤料过滤器滤料的选型和粒径大小选择是合理的, 出水水质稳定、较好, 可作为处理流程水质最终把关设备。双滤料过滤器反洗方式气洗加水洗先进合理, 反洗彻底, 与常规只用水反洗相比可节约反洗水 50%~80%。

表 2 欢三联污水深度处理试验结果

参 数	总进水	双滤料出水	软化出水	设计出水指标
总铁的质量浓度/(mg/L)	0.06	未检出	0.02	0.05
SiO ₂ 的质量浓度/(mg/L)	71.4	61.4	57.3	50~80
pH 值	8	8	8	7.5~11
悬浮物的质量浓度/(mg/L)	160	2	2	2
油的质量浓度/(mg/L)	150	1.5	1.5	2
总硬度/(mg/L)	87	—	0(57°)	0.1
总碱度/(mg/L)	2514	2596	2519	2000
总矿化度/(mg/L)	4569.5	4667	4603.5	7000

* 数据为强酸树脂软化结果。

3. 欢四联污水试验

欢四联稠油污水深度处理试验是在实验室研究和现场小试的基础上, 为进一步筛选高效的净水药剂, 降低成本, 提供运行参数而开展的, 试验规模为 240m³/d。

此流程分为两段主要处理流段: 前段流程重点除油; 进热采锅炉处理段重点除悬浮物、硬度、二氧化硅。

(1) 前段流程

稠油污水首先进入调节水箱进行水量、水质调节, 经提升泵均量送给快慢速反应器, 在快慢速反应器中分别投加破乳剂和絮凝剂进行化学反应, 稠油污水乳化油脱稳以后自流进入斜板隔油池进行油水分离, 上部浮油进入渣油池, 下部出水靠重力流入快速反应器, 在快速反应器中投加浮选剂, 进一步将水中的乳化油进行破乳脱稳, 其出水自流入高效气浮分离器, 上部浮渣经刮渣机刮入渣油池, 下部出水自流进入中间水箱。斜板隔油池和高效气浮分离器主要去除水中的油、悬浮物。

(2) 进热采锅炉软化系统

中间水箱出水经提升泵提升, 送入快慢速反应器中, 在快慢速反应器中分别投加混凝剂和絮凝剂, 经化学脱稳后出水自流, 进入混凝沉降罐, 在混凝沉降罐中主要去除大部分的硬度和二氧化硅, 混凝沉降罐出水自流进入中间水箱, 中间水箱出水经过滤泵提升进入双滤料过滤器, 将油与悬浮物的质量浓度控制在 2mg/L 以内, 避免离子交换树脂遭受油和悬浮物的污染, 双滤料过滤器本身自带反冲洗装置。双滤料过滤器出水进入中间水箱, 中间水箱出

水经提升泵提升进入弱酸氢离子树脂软化器,进一步将硬度去除,弱酸氢离子软化器自带再生系统。弱酸氢离子软化器出水进入中间水箱,中间水箱出水经提升泵提升进入强酸钠离子软化器,进一步将硬度去除。强酸钠离子软化器出水进入外输水箱。

通过试验可以得到以下结论。

- ① 污水处理后达到了锅炉给水指标(见表3)。
- ② 强化前段除油系统,减轻后段过滤、软化,确保各项指标达标。
- ③ 高效净水药剂的使用,确保稠油污水乳化油得到充分的破乳和脱稳。
- ④ 高效新型药剂投加量少,絮凝和破乳效果好。
- ⑤ 设计巧妙的高效斜板隔油池实现了油的自动分离,油水分离彻底,油的去除率高。
- ⑥ 双滤料接触过滤器合理选择了无烟煤和石英砂的级配,具有孔隙大、截污能力高、滤速高、出水水质稳定的特点。

表3 欢四联污水深度处理试验结果

参 数	原水水质指标	进热采炉指标	试验结果
总硬度/(mg/L)	300~400	≤ 0.1	检不出
SiO ₂ 的质量浓度/(mg/L)	80~120	≤ 50	45
悬浮物的质量浓度/(mg/L)	200~800	≤ 2	1.8
总碱度/(mg/L)	1800~2000	≤ 2000	1800
油和脂的质量浓度/(mg/L)	300~23340	≤ 2	1.2
TDS的质量浓度/(mg/L)	4000~4500	≤ 7000	4500
pH值	7.2	7.5~11	7.5

4. 几点认识

针对稠油污水黏度大、油水密度差小、乳化严重、水温高、水质水量变化大、处理难度大的特点,认为高效净水药剂的研制和开发是稠油污水深度处理的基础和关键。强化前段除油效果,减轻后段过滤系统的压力,使整个工艺技术合理、紧凑和高效;同时必须充分考虑污水的均质均量,避免来水对整个工艺流程造成冲击。

① 强化调节池的功能。由于稠油污水油水密度差小以及水质水量变化较大的原因,因此强化调节池的功能显得非常重要,有利于水量、水质的稳定。

② 加强高效净水药剂的研制和开发。由于稠油污水乳化严重,为使油、水分离,破乳是先决条件。因此高效净水药剂的研制和开发是稠油污水深度处理的基础和关键。应通过实验来确定最佳投药量、加药点、搅拌方式以及反应时间等。

③ 选择适合稠油污水处理的装置。为强化稠油污水处理效果,工艺流程中必须采用高效的油水分离设备,如斜板隔油和气浮等设备。但它们也必须在投加高效的净水药剂以及保持良好的水力条件下方能发挥预期的作用。

④ 稠油污水处理流程与原油脱水工艺应统筹考虑。原油脱水的水质对稠油污水处理效果的影响很大。原油脱水用的破乳剂与污水处理所采用的药剂应有良好的配伍性。另外应保证脱水中油含量的稳定性。

⑤ 稠油污水处理工艺流程应紧凑、合理、高效以及耐冲击。由于稠油污水水质水量变化较大,因此高效、紧凑、合理以及耐冲击的工艺流程就显得极为重要。

四、污水处理系统存在的主要问题及下步工作设想

1. 污水处理系统存在的主要问题

(1) 污水过剩的矛盾还没有解决

目前辽河油田日产含油污水约 $14 \times 10^4 \text{ m}^3$, 过剩水量 $6 \times 10^4 \text{ m}^3$, 预计 2005 年将达到 $16 \times 10^4 \text{ m}^3$ (未考虑汽驱增加的水量), 污水过剩的矛盾越来越突出, 随着环保法制的健全, 污水过剩和污水外排超标问题, 已经严重威胁到油田正常生产。目前, 暂时采取无效注水的办法, 缓解污水过剩的矛盾, 但无效注水受成本高、压力上升快、选层困难等方面的制约。污水过剩主要集中在锦采、欢采、曙采、冷东、特油等稠油油田, 占总过剩水量的 85%, 这也是影响稠油油田难以实现注采平衡的关键因素。

(2) 污水处理能力不平衡

根据地面生产系统的调查结果, 污水系统老污水处理系统能力不平衡, 一部分污水处理站超负荷运行(原来按综合含水 50% 的水量设计, 目前综合含水已近 80%)。

(3) 水质不达标

从调查资料统计结果看, 26 座污水处理站的出水含油基本达到高、中渗透油田注水标准, 个别站能够达到低渗透油田注水标准; 出水悬浮物、粒径只能达到高渗透油田注水标准。水质不达标主要原因是处理设备和流程设计及管理方面的问题。

(4) 工艺流程适合性越来越差

随着油田开发的深入, 稠油产量不断增加, 油品有变差的趋势, 前段原油脱水效果变差, 污水水质发生很大变化。1995 年左右原油脱出污水中油的质量浓度不超过 500mg/L, 目前个别站已高达几万 mg/L, 老站原设计污水处理流程标准低, 污水处理工艺不完善, 已无法满足目前污水处理工艺要求, 致使水质变差。

(5) 污泥处理工艺不完善

污泥在系统循环, 使水质变差。由于油田含油污水中含有大量的悬浮固体、胶体、菌体、油、盐类等, 在原油和污水处理过程中还投加大量化学药剂, 因此, 污水处理过程中, 产生大量含油污泥, 原设计没有污泥处理设施, 影响污水处理系统的正常运转, 急需进行污泥无害化处理。

(6) 污水改造资金严重不足

在“十五”期间, 规划需投资 7.5 亿元, 才能彻底解决辽河油田污水综合治理问题, 实现污水系统的良性循环。

2. 下步工作设想

(1) 优化污水处理工艺流程

污水处理流程中增设缓冲调节段; 完善污水处理站反洗水回收系统, 减小对主流程水量、水质的冲击; 提高污水处理流程的自动化水平, 逐步实现过滤系统、加药系统、自动监控的自动化, 减少人为因素, 提高管理水平。

(2) 更新改造老站污水处理设备

更换斜板罐内老化、损坏的斜板, 或改换成斜管; 更新改造砂滤器, 推广使用双滤料过

滤器、双向过滤器等；更新改造浮选机。

(3) 加强管理

筛选高效的化学药剂，降低运行成本，提高处理精度；加强老站的管理工作，污水处理站要挖掘各处理单元的潜力，对运行设备加强维护，对带病设备及时修理，对停用设备，尽量恢复运转，最大限度改善注水水质。

(4) 攻关污水处理新技术

攻关或引进高精度、高效率水处理设备(如滤芯过滤器等)，缩短流程长度；继续攻关污水深度回用锅炉处理技术，因为辽河油田属于多断块油田，水性差异较大，需要根据不同水质特点，采用不同污水处理技术；在试验成功的污水处理站，尽快实施污水深度处理工程，把稠油污水回用于热采锅炉；分步实施污水改造工程，提高水质，使污水系统尽快走上良性循环。在资金许可的前提下，争取在“十五”期间基本解决污水过剩的矛盾。提高污水，特别是稠油污水的回用率。