

文章编号:1000-4092(2021)02-374-06

海上聚合物驱油田产出液处理研究进展*

刘少鹏^{1,2},徐超^{1,2},苏伟明³,魏强^{1,2},刘洋^{1,2}

(1. 中海油(天津)油田化工有限公司,天津 300452;2. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司,天津 300452;
3. 中国石油长城钻探工程有限公司录井公司,辽宁 盘锦 124010)

摘要:渤海油田自2003年开始实施聚合物驱提高采收率技术,取得了一定的降水增油效果,但海上油田聚合物驱规模不断扩大也给地面油水处理带来诸多挑战。基于海上聚合物驱油田产出液处理现状,分析了含聚合物产出液油水分离、含聚合物污水处理、含聚合物油泥处理和污水回注过程中存在的问题,总结了近年来为解决聚合物驱产出液处理问题而开展的相关研究,对海上聚合物驱油田破乳剂、清水剂和解堵剂的开发有一定的指导意义,为进一步提高海上油田聚合物驱产出液处理能力、改善油水处理效果、减少聚合物油泥和提高油水井解堵效果提出了建议。图4参49

关键词:渤海油田;聚合物驱;污水;产出液;破乳剂;清水剂;油泥;综述

中图分类号:TE992 **文献标识码:**A **DOI:**10.19346/j.cnki.1000-4092.2021.02.030

渤海SZ36-1油田自2003年开始实施聚合物驱提高采收率技术,并于2010年实施全面注入聚合物(简称注聚),取得良好的连续降水增油效果^[1]。渤海JZ9-3油田自2007年开始实施聚合物驱(简称聚驱)提高采收率技术,并于2010年开始转为聚合物/表面活性剂(简称聚/表)二元复合驱,有效降低了油井含水上升速度,确保了油田长期稳产^[2-3]。随着渤海油田注聚规模进一步扩大,油井产出液聚合物浓度呈现上升趋势,开始出现油水分离困难、含聚合物(简称含聚)污水处理难度大、聚合物胶结物堵塞设备、油田集输化学药剂浓度不断升高、注水水质超标等问题,成为制约海上油田聚驱推广应用的主要瓶颈。海上聚驱油田处理含聚产出液效果不佳的主要原因为:油水分离器实际温度达不到设计要求、海上平台空间限制导致物流在油水处理设备中停留时间过短、污水处理过程形成的含聚污油泥对流程产生二次污染、阳离子型清水剂与驱油用聚合

物发生胶结反应形成黏弹性胶状物^[4]。

海上聚驱油田受自然环境限制,海上平台油水处理设备小、流程停留时间短、采出液性质复杂、油水处理指标相对严苛,导致海上聚驱油田含聚采出液处理技术难度大大超过陆地聚驱油田。陆地聚驱油田油水处理设施体积大、停留时间长,能充分发挥停留时间长的优势,在油水处理剂方面可选择成本相对低廉的药剂。因此,近年陆地聚驱油田产出液处理技术研究主要集中在对含聚产出液乳状液稳定性、含聚污水处理技术、高效油水处理设备研究等方面的研究,与目前海上聚驱产出液处理技术研究的内容略有不同,但也为聚驱实施时间相对较晚的海上油田聚驱采出液处理提供了重要思路。为了进一步了解国内海上油田聚驱产出液处理技术进展及存在的问题,本文分别从海上油田聚驱产出液油水分离、含聚污水处理、含聚油泥处理、油水井解堵等方面存在的问题及相关研究进展进

* 收稿日期:2020-03-02;修回日期:2020-05-12。

基金项目:中国海洋石油总公司重大科技项目“油田采出液新型破乳剂与水处理剂开发”(项目编号CNOOC-KJ135ZDXM 35TJY001-2018)。

作者简介:刘少鹏(1987—),男,工程师,中国石油大学(北京)化学工程与技术专业工学硕士(2012),从事油田化学及提高采收率相关工作,通讯地址:300451 天津市滨海新区高新区神舟大道与惠新路交口海油发展工程技术公司,E-mail:liushaopeng239@163.com。

行分析探讨。

1 海上油田聚驱对油水分离的影响

1.1 海上聚驱产出液油水分离存在的问题

渤海 SZ36-1 油田为聚驱稠油油田,2019 年测得油样中聚合物的质量浓度为 110 mg/L,50 ℃ 下地面原油密度和黏度分别为 0.949 g/cm³、851.9 mPa·s,凝固点为 -8 ℃,含硫 0.372%、蜡 2.93%、沥青质 8.45%、胶质 17.37%,特点为原油密度大、黏度高、胶质和沥青质含量高;JZ9-3 油田为聚/表二元驱油田,2019 年测得油样中聚合物的质量浓度为 365 mg/L,50 ℃ 下地面原油密度和黏度分别为 0.924 g/cm³、119.7 mPa·s,凝固点为 -22 ℃,含硫 0.248%、蜡 4.02%、沥青质 5.03%、胶质 14.6%,特点为产液聚合物浓度高、蜡含量高。由于海上聚驱油田产出液成分复杂,油水乳化严重,形成的乳状液稳定性强,导致油水分离难度大。

魏强等^[5]研究发现沥青在原油中以胶体形式存在,沥青胶体由胶束组成,而胶束内部是沥青核,沥青胶体被胶质包围,沥青在含聚稠油中主要以具有刚性的交联网络形式向油水界面聚集,形成稳定的乳状液。为了研究海上油田聚驱产出液对油水分离效果的影响,魏强等^[6]研究了不同类型聚合物对原油产出液油水分离的影响规律,发现具有表面活性的聚合物会大幅增加聚驱产出液的处理难度,而不具有表面活性的聚合物对油水分离影响的程度相对较小,并建议从海上驱油用聚合物选型阶段开始即考虑聚合物种类对产出液处理的影响,同时推荐驱油用聚合物优先选择线性聚合物。张健等^[7-8]发现疏水缔合部分水解聚丙烯酰胺(AP-P4)具有两亲结构特点,与普通部分水解聚丙烯酰胺(HPAM)相比,更易在油水界面聚集,增强油水界面膜厚度,乳状液稳定性更强,且黏土矿物、调剖产出物和酸化返排液均会削弱破乳剂的脱水性能。

陆地油田同样存在聚驱产出液油水分离问题。严峰等^[9-10]研究了胜利油田聚合物驱油体系中的原油乳状液性质,发现胜利油田坨 28 原油中含 28.5% 胶质、3.9% 沥青质,与海上聚驱油田较为相似,沥青质和胶质是含聚乳状液稳定的关键因素;AP-P4 比 HPAM 更易形成黏弹性界面膜,乳状液的 Zeta 电位约为 -40 mV,大大高于 HPAM 形成的乳状

液,导致油水分离难度增大。这一观点与魏强^[6]的较为相似。

1.2 海上聚驱油田破乳剂研究进展

为了提升海上聚驱油田油水分离效果,在海上油田聚合物驱实施初期国内学者就进行了大量破乳剂室内研究和矿场试验工作。檀国荣等^[11-12]发现 AP-P4 形成的油水乳状液稳定性强,油田在用的破乳剂为嵌段聚醚与二异氰酸酯交联所得的聚氨酯类破乳剂,加注浓度高、脱水效果不佳;而具有线型多分支结构的丙烯酸改性高分子破乳剂脱水效果更为突出,破乳机理主要包括顶替或置换、絮凝-聚结、膜击破、钝化活性物质等,具有用量低、脱水率高、水质清澈的优点。自 2014 年开始,海上油田聚合物注入量大幅增加,油井产出液中聚合物浓度大幅升高、油水乳化程度增大、油井提产后流程处理液量大幅增加、原油停留时间进一步缩短,油水分离难度进一步增大。刘少鹏等^[13]研究了如何提高破乳剂在海上聚驱稠油乳状液中的作用速度和分散效果,合成的多支化酚胺树脂类嵌段聚醚破乳剂的脱水效果明显优于长链线型结构破乳剂,应用后脱水效果得到明显提升,药剂加注量降低 48%。翟雪如等^[14]合成了 SF 系列支状嵌段聚醚破乳剂,发现环氧乙烷(EO)含量过高或过低的嵌段聚醚均不利于原油乳状液的破乳,而分子量较大的嵌段聚醚交联后对原油乳状液的脱水效果无较大提升。殷硕^[15]以叔丁基苯酚胺树脂为起始剂与环氧丙烷(PO)和 EO 共聚,合成多枝状 TB 系列嵌段聚醚破乳剂,并用甲苯二异氰酸酯(TDI)对其进行改性。现场评价结果表明,改性后的嵌段聚醚破乳剂对海上稠油油田聚合物驱产出液的分离效果较好。李仲伟^[16]指出海上聚驱产出液破乳剂的多支化可增加油水界面处的作用位点,增加苯环数量会提高药剂与沥青质和胶质的吸附性,同时增加胺基数量会提升破乳剂与油水界面上酸性基团的作用效果,合成的双酚 A 酚胺树脂嵌段聚醚破乳剂和四酚基乙烷聚醚破乳剂具有亲水亲油平衡值(HLB 值)低和脱水率高的特点。王宜阳等^[17]分别研究了油田常用的直链型破乳剂 SP169 与支链型破乳剂 AE121 在正癸烷-水界面之间的扩张黏弹性,发现两种破乳剂均能大幅降低界面膜的扩张模量,SP169 的吸附效果较好,而 AE121 的顶替效果更好;而当破乳剂浓

度过高时,会导致扩张模量增大,进而产生过度乳化现象。笔者将支链破乳剂 AE121 作为辅助清水破乳剂与常规破乳剂复配后应用于渤海南堡 35-2 聚驱油田,可明显改善分离器水相出口水质,提升水包油型乳状液脱水效果。

2 海上油田聚驱对污水处理的影响

2.1 海上含聚污水处理存在的问题

面对海上聚驱油田生产污水处理难度大等问题,靖波等^[18]对 SZ36-1 油田含聚污水中的 O/W 型乳状液稳定性以及聚合物分子在乳状液中的稳定机理进行了研究,发现含聚生产污水中稳定的油分主要以 O/W 型乳化油形式存在,且乳化油的含量占总油分的 90% 以上,含聚乳状液是含聚污水难以处理的主要原因。聚合物会导致污水中的乳化油含量明显增加,污水稳定性更强。苏延辉等^[19]研究了 SZ36-1 油田含聚生产污水的黏度、Zeta 电位、界面张力和黏弹性等,发现污水中残留的聚合物会增加污水黏度,聚合物吸附在油水界面处而增强污水中 O/W 型乳状液的电负性,增加油水界面膜弹性强度,导致含聚污水中的乳状液稳定性增强。因此,含聚污水中的残余聚合物对增强污水稳定性起到了关键性作用。陈武等^[20]研究了污水含油量、固体悬浮物含量和聚合物浓度对 JZ9-3 油田含聚生产污水 Zeta 电位值的影响,发现随着聚合物浓度增大,带电悬浮颗粒的电负性增大,而含油量和悬浮颗粒含量对污水 Zeta 电位的影响较小,污水残留聚合物是导致含聚污水稳定性强的主要原因。为了快速有效地处理海上油田含聚污水,需投加大量阳离子清水剂来破坏 O/W 型乳状液的双负电层。

陆地油田在处理含聚污水方面积累了丰富的现场实践经验。吴迪等^[21]发现大庆油田三元复合驱采出液中残余的聚合物和碱性表面活性剂会导致油水乳化程度增大,含聚污水分离难度大。含聚污水中残余的阴离子型聚丙烯酰胺与油田污水处理常用的阳离子型清水剂发生电性中和反应,导致清水剂加注量不断增加,同时产生的黏附性油泥堵塞过滤器。对此,吴迪等提出了开发阴离子型或非离子清水剂的思路,发现 EO 和 PO 的嵌段共聚物与聚丙烯酸的衍生物 Drows-1 对含聚污水的除油效果较好,同时能降低滤器的清洗难度。方洪波等^[22-23]

分析了胜利油田孤东二元复合驱采出液的破乳机理,制备了针对 O/W 型乳状液和 W/O 型乳状液兼具脱水效果的非离子聚醚综合处理剂 ARK-88,大幅降低了油水分离难度,在提升污水处理水质的同时,大幅提高含聚污水中的残余聚合物保留率,减少聚合物以固体形式析出量,降低了油泥产生量和油泥处理费用,具有可观的经济效益。大庆油田与胜利油田在化学驱采出液处理方面取得的成功经验为海上油田聚驱采出液的处理提供了重要的技术支持。从 2012 年至 2020 年,渤海油田在聚驱采出液处理技术攻关工作中不断加大对非离子聚醚类反相破乳剂的开发力度,以缓解聚合物油泥对污水处理流程的影响。

2.2 海上聚驱油田清水剂研究进展

海上注聚油田早期污水处理用清水剂主要为聚合氯化铝(PAC)、阳离子聚丙烯酰胺(PDAC-AM)、阳离子型二元共聚物 P(AM-DMDAAC)、聚二甲基二丙烯氯化铵(PDM)等高分子阳离子聚合物清水剂。在聚驱产出液聚合物浓度较低的情况下,此类阳离子清水剂的净水效果较好,但会反应生成大量胶结聚合物而堵塞设备和管线,增加设备清洗频次,降低设备处理效果^[24-27]。随着海上油田聚驱产出液中聚合物浓度不断升高,常规阳离子聚丙烯酰胺类清水剂投加量大幅增大,季铵盐型小分子聚胺阳离子清水剂开始出现,虽具有加注浓度低、清水效果突出的特点,但仍然无法避免胶结聚合物油泥的产生^[28]。

翟磊等^[29-30]合成的两性清水剂对含聚污水有较好的清水效果,同时避免了因强电性中和作用而产生黏性胶结絮体;对比 3 种不同类型的清水剂(阳离子型、非离子型和阴离子型)与含聚污水的作用机理,发现阳离子型清水剂主要利用电性中和和吸附架桥作用,生成的絮团为致密的大块黏性胶结物,絮体上浮速率快;非离子型清水剂主要通过破坏油水界面膜、促进微小油滴聚并,产生的絮体主要以片状的浮油为主,且絮体较小、上浮速度相对较慢,黏附性弱;而阴离子型清水剂则同时具有油滴聚集和聚并的能力,从而避免药剂与污水中的残留聚合物发生电性中和作用,形成的絮体相对松散,但药剂加注浓度较高。通过对比上述 3 种类型清水剂的优缺点,翟磊等^[31-32]建议海上聚驱油田含聚污水处

理用清水剂的开发研究应从非阳离子型清水剂入手,在清水除油的同时,可改善絮体状态,避免产生黏性污泥,最大化地保留含聚污水中的残余聚合物。在海上注聚油田中,非离子型清水剂 BHQ-402 最早应用于 LD10-1 聚驱油田^[33],并在渤海 JZ9-3 聚驱油田成功推广,取得较好的清水效果;但由于 BHQ-402 对疏水缔合型聚合物驱油产出液的清水效果不佳,未能在 SZ36-1 油田实现推广应用。黎奇谋等^[34]制备的磁化改性聚醚非离子型清水剂 M-DMEA 与 SZ36-1 油田含聚污水中的界面活性物质发生吸附作用,吸附率大小的顺序为:沥青质>胶质>聚合物,并且随着温度升高,M-DMEA 分子表面的亲油性增强,油滴聚并速率常数增大,有助于提高清水效果。由于非离子型清水剂作用时间较长,而海上油田受平台空间限制,污水处理流程的停留时间不足,非离子型清水剂在 SZ36-1 油田的推广应用仍需进一步研究。

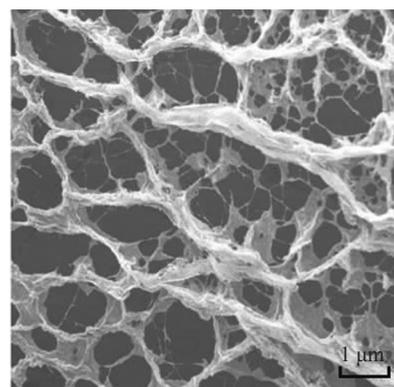
3 海上油田含聚油泥对生产流程的影响

3.1 海上油田含聚油泥产生原因

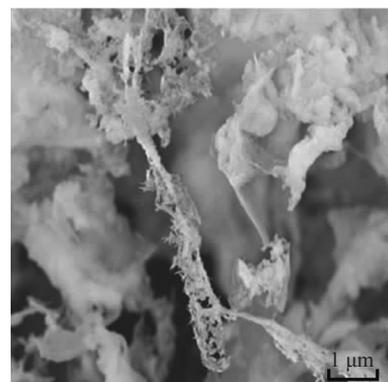
海上油田在处理含聚污水过程中加入了清水剂以实现快速清水、除油、除悬的目的,而阳离子型清水剂与含聚污水作用后产生了化学性质稳定的黏弹性胶状油泥,油泥大量聚集,导致生产流程设备和管线堵塞、换热器换热效率降低、油水分离设备运行效率下降、回注污水水质不达标,严重影响生产流程的正常运行^[35-36]。

唐洪明等^[37]利用原子力显微镜(AFM)和环境扫描电镜(ESEM)观察了 JZ9-3 油田污水处理流程各节点残余 HPAM 的微观形貌,如图 1 所示。油井产出液中的残余聚合物为多层次立体网状结构,未发生明显胶结;经破乳剂和反相破乳剂等化学药剂作用后,生产污水中的聚合物呈线团缠绕状结构;在经过污水系统各级设备及阳离子型清水剂作用后,残余聚合物变为黏弹性胶结物。由此可见,油水处理用破乳剂和清水剂对含聚污水中残余聚合物的絮凝作用会导致聚合物析出,在絮凝沉降过程中将油滴和固体悬浮物聚集,形成大量包裹着油污和聚合物的胶状固体产物。

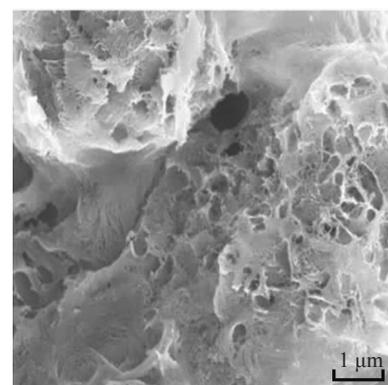
陆地聚驱油田同样存在聚合物油泥堵塞滤网和设备的情况,需要定期进行清罐处理。李美蓉



(a)油井产出液



(b)油水分离器出口污水



(c)回注污水

图 1 不同污水样品中 HPAM 的微观状态^[37]

等^[38]利用冷场扫描电镜(SEM)和 X 射线光电子能谱(XPS)分析了胜利油田孤岛采油厂含聚油泥的结构,发现聚驱产出液中的残余 HPAM 与 PAC 发生絮凝作用而形成具有空间网状结构的沉淀,并与污水中的悬浮固体颗粒相互缠绕,形成更大的稳定性极强的空间网状结构,这是造成含聚油泥体系难以处理的主要原因。

3.2 海上油田含聚油泥处理研究进展

海上油田污水处理过程中形成的含聚油泥含油量高、黏性大、稳定性强、处理难度大,严重影响

平台生产设备的运行效果。由于海上平台无法处理含聚油泥,需要依靠船舶运回陆地处理,增加了污油泥的处理成本,同时造成部分可回收原油的浪费。

SZ36-1油田含聚油泥主要成分为:38.34%水、42.12%原油、1.30%固体无机物、7.42%固体聚合物、10.82%其他固体有机物^[39]。胡菲菲等^[39]采用热化学法处理含聚油泥,设计了含聚污油泥的处理工艺

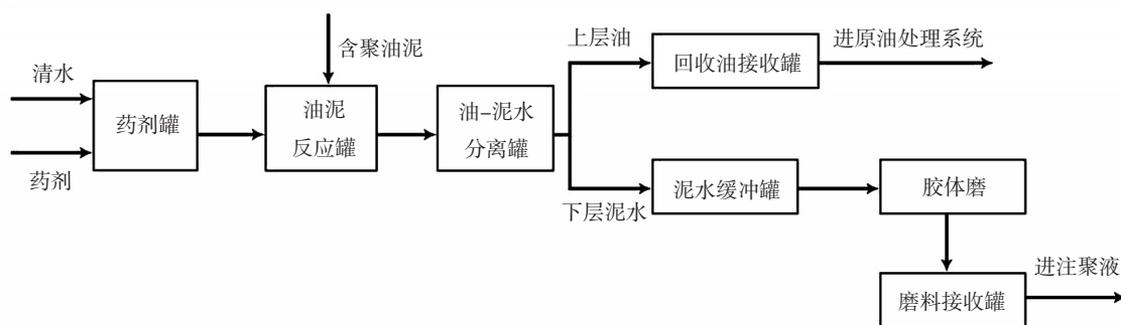


图2 含聚油泥回注工艺流程示意图

4 海上油田聚驱对油水井的影响

4.1 海上聚驱油田地层堵塞原因

渤海SZ36-1油田自2003年开始实施AP-P4驱油提高采收率技术,随着聚合物溶液注入量逐年增加,注聚井的堵塞问题日趋严重、注聚压力不断升高。宋爱莉等^[42]通过X射线多晶衍射法、扫描电镜和红外光谱分析了SZ36-1油田某注聚井取出的堵塞物,发现堵塞物主要是由有机物和无机物共同组成的胶状复合垢,同时地层多孔介质中的高价金属阳离子会与聚合物分子发生交联反应,形成胶状物而堵塞地层。陈华兴等^[43]认为注聚井注入压力升高的原因主要是聚合物母液与生产污水配伍性不佳,聚合物溶液过滤效果不好,未完全溶解的大颗粒絮团或聚合物“鱼眼”注入井下,聚合物在地层中的吸附滞留造成注聚井的近井地带发生堵塞,建议通过严格控制注入水水质和提升聚合物配注系统过滤效果,减少注聚井堵塞的情况。

2019年,SZ36-1油田部分受益油井近井地带、井下筛管处和电潜泵吸入口都发现了含聚堵塞物,由此造成油井产能下降、油井检泵作业周期缩短,严重制约了聚合物驱提高采收率的生产效益。邹剑等^[44]采用多种分析手段研究了注聚井和受益井堵塞物的组成,发现受益油井中的堵塞物主要以

流程(见图2),将含聚油泥在药剂作用下生产的产物经分离器进行油相、泥水分离,分离出的油相可直接回收,泥水经研磨细化处理后,将细化污泥与AP-P4聚合物溶液混合制得聚合物驱调剖体系,回注地层期间黏度变化小,抗剪切性强,注入性良好。陈文娟等^[40-41]通过物理模拟实验评价了油泥对污泥-聚合物混合液的驱油效果,得到了最优油泥处理工艺参数。

无机垢 Fe_2O_3 为主,而注聚井中的无机垢主要为 CaCO_3 ,注聚井中的有机垢主要为HPAM在酸性条件下与 Fe^{3+} 作用后发生配位作用而生成不溶于水的聚合物交联物。

4.2 海上聚驱油田油水井解堵方法

渤海油田注聚井解堵方法主要有酸溶蚀法和氧化降解法。酸溶蚀法使用常规酸溶液溶蚀堵塞注聚井的无机物。由于常规酸液对有机堵塞物的溶蚀效果不明显,通常使用氧化剂降解堵塞地层的有机高分子长链,达到解堵的目的^[45]。

宋爱莉等^[46]利用注聚井解堵剂对聚合物溶液进行降解实验、对注聚井堵塞物进行溶蚀实验。室内物模驱替实验表明,BHJ3-D解堵剂能有效解决聚驱造成的地层渗透率下降、注聚井压力升高等问题,在JZ9-3油田W8-4井实施解堵措施后,目标层位吸水强度从11.2%升高到38.9%。卢大艳等^[47]分析SZ36-1油田、JZ9-3油田和LD10-1油田的注聚井堵塞物发现,3个油田的堵塞物均为无机垢和有机垢包裹而成的复合垢。室内评价结果表明,由主剂氧化剂、缓蚀酸与助剂组成的复合解堵体系对聚合物的氧化降解效果好。在海上注聚油田进行了多次应用,视吸水指数平均提高了90%,解堵有效期达10个月,具有良好的推广应用价值。申金伟等^[48]通过对比AS解聚剂(主剂为过氧化物)、BJ解聚剂

(主剂为惰性氧化物)、复合解聚剂(主剂氧化物、辅剂螯合剂和缓蚀剂)3种解聚剂对聚合物的降解效果和洗油效果,发现复合解聚剂针对聚合物垢样有较好的降解作用,同时复合体系具有较高的螯合能力,可以降解由金属离子与聚合物交联产生的堵塞物。温哲华等^[49]通过长期跟踪海上聚驱油田实施解堵增注技术后注聚井注入压力的变化,发现使用单一的无机酸液或有机氧化解堵剂解堵后吸水指数增加倍数逐渐减少,对复合堵塞物的解堵能力有限。解聚剂体系的评价应同时考虑多种添加助剂的协同作用,从而更好地解决海上油田注聚井的堵塞问题。

5 建议与展望

目前,海上油田含聚产出液处理及污水回注仍然存在诸多急需解决的问题,尤其以SZ36-1油田聚驱产出液处理问题最为突出。需针对海上聚驱油田采出液性质和现有平台生产工艺流程特点,重点开展以下几个方面的研究:(1)对聚驱油田中心处理平台油水处理设备有针对性改造,提升油水处理设备的处理能力,改造原油换热器,提升换热效果,降低清洗频率;海上注聚油田新建生产处理设施应充分考虑注聚产出液处理所需的油水性、处理温度、停留时间、设备清洗频次等影响因素,同时增加老化油处理流程,保证油水处理效果。(2)海上油田大规模推广化学驱油体系前应充分考虑驱油用聚合物对产出液油水分离效果的影响,研究开发与驱油体系相配套的油水分离用破乳剂、反相破乳剂和絮凝剂,以降低聚驱产出液中残余聚合物对流程效果的影响。(3)稠油含聚产出液油水分离用破乳剂的研究方向主要向多支化、多苯环发展,取得了一定成效,建议不断拓展稠油聚驱破乳剂研究范围,为解决油水分离提供更多的可行性思路。(4)海上含聚污水处理需要从减少聚合物以固体形式析出为出发点,减少聚合物胶结物对生产设备的影响,加大对清水速度快、清水效果好、与破乳剂协同效果好的反相破乳剂和絮凝剂的开发力度,着重对清水型非离子嵌段聚醚反相破乳剂进行研究,但不局限于该类药剂。(5)在注聚井和注聚受益油井解堵方面,需充分了解堵塞物的成因,分析堵塞物中无机物和有机物的组成,针对无机+有机复合型堵

塞物应采用复合型解堵剂,提升解堵剂对堵塞物的溶蚀和降解能力,延长解堵有效时间。

参考文献:

- [1] ZHOU Wei, ZHANG Jian, HAN Ming, et al. Application of hydrophobically associating water-soluble polymer for polymer flooding in China offshore heavy oilfield [C]//International Petroleum Technology Conference. Dubai, UAE, 2007: 1-5.
- [2] KANG Xiaodong, ZHANG Jian. Offshore heavy oil polymer flooding test in JZW area [C]//SPE Heavy Oil Conference-Canada. Calgary, Alberta, Canada, 2013: 1-8.
- [3] LU Qiong, NING Yonggen, WANG Jianghong, et al. Full field offshore surfactant-polymer flooding in Bohai Bay China [C]//SPE Asia Pacific Enhanced Oil Recovery Conference. Kuala Lumpur, Malaysia, 2015: 1-12.
- [4] 徐文江,戴照辉,温哲华,等.海上典型注聚油田产出液处理问题及措施研究[J].工业水处理,2016,36(8):93-96.
- [5] 魏强,代红成,杜大委.海上油田三次采油用聚合物对采出液油水分离特性的影响评价[J].油气地面工程,2019,38(11):33-38.
- [6] 魏强,李军,杨记涛,等.沥青稳定剂对稠油脱水影响的实验研究[J].石油化工应用,2013,32(12):92-95.
- [7] 张健,韩明,向问陶,等.海上稠油油田聚合物驱原油破乳研究 I 破乳剂研制[J].石油与天然气化工,2006,35(2):130-133.
- [8] 张健,韩明,向问陶,等.海上稠油油田聚合物驱原油破乳研究 II 破乳辅助剂研制[J].石油与天然气化工,2006,35(2):134-136.
- [9] 严峰,张建,付天宇,等.疏水缔合聚合物驱体系中原油乳状液性质及破乳规律[J].石油学报(石油加工),2016,32(3):546-555.
- [10] 常玉霞,袁存光,方洪波.聚合物对W/O乳状液稳定性的影响规律研究[J].油田化学,2011,28(1):86-88.
- [11] 檀国荣,刘伟,蒋珊珊,等. DW原油破乳剂的性能及在渤海油田的矿场应用技术[J].油田化学,2016,33(3):532-536.
- [12] 沈明欢,郭亚军,王金本,等.渤海油田聚合物驱采出液的破乳研究[J].精细化工,2006,23(12):1190-1193.
- [13] 刘少鹏,朱凯,胡玉东,等.含聚稠油高效破乳剂研究与应用[J].化学研究与应用,2018,30(2):243-248.
- [14] 翟雪如,刘腾,徐桂英,等.支状嵌段聚醚的界面聚集行为及对原油乳状液的破乳作用[J].物理化学学报,2013,29(6):1253-1259.
- [15] 殷硕.多枝状嵌段聚醚的合成及破乳性能研究[D].济南:山东大学,2014:65-81.
- [16] 李仲伟.聚合物驱原油破乳剂的研究及应用[D].济南:山东大学,2017:82-117.
- [17] 王宜阳,张路,孙涛垒,等.不同结构破乳剂油水界面扩张粘弹性研究[J].物理化学学报,2003,19(4):297-301.
- [18] 靖波,张健,檀国荣,等.海上油田含聚污水中原油状态分析

- [J]. 油田化学, 2014, 31(2): 295-298.
- [19] 苏延辉, 刘敏, 郭海军, 等. 疏水缔合聚合物对SZ36-1油田生产污水稳定性的影响[J]. 油田化学, 2014, 31(1): 122-126.
- [20] 陈武, 张健, 檀国荣, 等. 聚合物驱含油废水zeta电位影响因素及其处理条件研究[J]. 海洋石油, 2013, 33(3): 50-53.
- [21] 吴迪, 余刚, 孟祥春, 等. 三元复合驱含油污水油水分离剂的研制[J]. 工业水处理, 2003, 23(1): 20-22.
- [22] 罗澜, 张路, 方洪波, 等. 复合驱体系化学剂对原油活性组分界面扩张性质的影响[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(S1): 21-25.
- [23] 董培林, 方洪波. 新型二元驱采出液综合处理剂的研制[J]. 油气田地面工程, 2008, 27(9): 7-8.
- [24] 沈明欢, 王金本. 渤海油田聚驱采出液污水处理研究[J]. 工业水处理, 2009, 29(9): 69-71.
- [25] 梁伟, 赵修太, 韩有祥, 等. 油田含聚污水处理与利用方法技术探讨[J]. 工业水处理, 2010, 30(10): 1-5.
- [26] 朱玥珺, 张健, 段明. 阳离子聚合物对聚合物驱含油污水的处理研究[J]. 油田化学, 2012, 29(2): 243-246.
- [27] 唐果, 段明, 张健, 等. 阳离子型聚丙烯酰胺对聚驱采出液的协同破乳效果研究[J]. 油田化学, 2010, 27(3): 323-327.
- [28] 程婷婷, 侯吉瑞, 安昊盈, 等. 适用于渤海绥中油田含聚污水的高效清水剂[J]. 油田化学, 2018, 35(3): 522-526.
- [29] 翟磊, 王秀军, 靖波, 等. 双亲型清水剂处理油田含聚污水[J]. 化工环保, 2016, 36(1): 5-10.
- [30] 翟磊, 王秀军, 靖波, 等. 两性清水剂处理聚合物驱含油污水[J]. 石油与天然气化工, 2016, 45(2): 98-102.
- [31] 翟磊, 王秀军, 靖波, 等. 不同类型清水剂处理油田含聚污水的效果对比[J]. 化工环保, 2016, 36(2): 124-30.
- [32] 王曼琳, 方申文, 王飞, 等. 不同类型清水剂对不同原油组分界面稳定性的影响[J]. 石油学报(石油加工), 2018, 34(6): 1143-1148.
- [33] 肖清燕, 尹先清, 孙培京, 等. 含聚含油污水处理剂BHQ-402的评价[J]. 油田化学, 2013, 30(4): 597-599.
- [34] 黎奇谋, 张雅丽, 阚涛涛, 等. 磁化破乳剂处理含聚污水机理研究[J]. 石油化工, 2016, 45(11): 1357-1362.
- [35] 张慧, 俞雪萍, 靖波, 等. 海上油田注聚采出液中胶团形成机理研究[J]. 胶体与聚合物, 2015, 33(4): 162-164.
- [36] 王秀军, 张健, 翟磊, 等. 聚驱油田采出液处理生成油泥的组成及形成机理[J]. 化工环保, 2016, 36(4): 364-369.
- [37] 唐洪明, 刘鹏, 黎菁, 等. 含聚污水处理系统HPAM形貌特征及胶状产物成因[J]. 特种油气藏, 2012, 19(2): 130-134.
- [38] 李美蓉, 王琦, 张建, 等. 冷场扫描电镜结合X-射线光电子能谱解析表面活性剂对含聚油泥稳定结构的影响[J]. 分析化学, 2011, 39(12): 1921-1925.
- [39] 胡菲菲, 李庆, 靖波, 等. 海上含聚油泥处理后泥水的回注[J]. 化工环保, 2015, 35(4): 381-385.
- [40] 陈文娟, 靖波, 胡科, 等. 海上油田含油污泥对污泥-聚合物混合液性能的影响[J]. 化工环保, 2017, 37(2): 227-231.
- [41] 刘晓瑜, 尹先清, 王文斌, 等. 含聚油泥处理工艺参数优化及交互作用分析[J]. 化工环保, 2018, 38(4): 451-455.
- [42] 宋爱莉, 孙林, 朱洪庆, 等. SZ36-1油田缔合聚合物驱堵塞物形成机理分析[J]. 石油钻采工艺, 2011, 33(1): 83-87.
- [43] 陈华兴, 高建崇, 唐晓旭, 等. 绥中36-1油田注聚井注入压力高原因分析及增注措施[J]. 中国海上油气, 2011, 23(3): 189-192.
- [44] 邹剑, 陈华兴, 高尚, 等. SZ36-1油田注聚井和聚驱受益油井堵塞物的组成及成因对比分析[J]. 石油与天然气化工, 2019, 48(5): 77-82.
- [45] 黄利平, 赵文森, 崔盈贤, 等. 一种新型注聚合物井解堵体系的研究与应用[J]. 特种油气藏, 2015, 22(4): 125-128.
- [46] 宋爱莉, 孙林, 刘春祥, 等. BHJ3-D注聚井解堵剂效果评价与应用[J]. 钻采工艺, 2011, 34(4): 76-79.
- [47] 卢大艳, 孟祥海, 吴威, 等. 渤海注聚油田堵塞井堵塞机理分析及复合解堵工艺设计[J]. 中国海上油气, 2016, 28(5): 98-103.
- [48] 申金伟, 赵健, 陈磊, 等. 渤海注聚井区高效解聚剂的研究和应用[J]. 石油化工高等学校学报, 2019, 32(2): 26-31.
- [49] 刘光成, 温哲华, 王天慧, 等. 海上油田注聚井解堵增注技术进展研究[J]. 石油天然气学报, 2014, 36(12): 244-247.

Research Progress on the Treatment of Produced Fluid in Offshore Polymer Flooding Oilfield

LIU Shaopeng^{1,2}, XU Chao^{1,2}, SU Weiming³, WEI Qiang^{1,2}, LIU Yang^{1,2}

(1. CNOOC Ener-Tech Oilfield Chemical Company, Ltd, Tianjin 300452, P R of China; 2. CNOOC EnerTech-Drilling and Production Company, Tianjin 300452, P R of China; 3. Mud Logging Company, Great Wall Drilling Company of CNPC, Panjin, Liaoning 124010, P R of China)

Abstract: Bohai oilfield had achieved some results of increasing oil production and decreasing water cut after polymer flooding enhanced oil recovery technique was implemented since 2003. But the increasing scale of polymer flooding brought many challenges to the treatment of crude oil and water on platform. The problems on oil-water separation of polymer-containing produced fluid, treatment of polymer-containing wastewater, treatment of oily sludge and wastewater reinjection were analyzed, on the basis of the status of produced fluid treatment in offshore polymer flooding oilfield. Studies on the treatment of polymer-flooding produced fluid in recent years had significant instruction for the development of demulsifiers, water clarifiers and plug removal agent in offshore polymer flooding oilfield. The recommendations concerning further improving the processing capacity of polymer-flooding produced fluid, enhancing the treatment effect of crude oil and wastewater, reducing the amount of oily sludge and increasing the efficiency of removing plug of oil or water well in offshore oilfield were provided.

Keywords: Bohai oilfield; polymer flooding; wastewater; produced fluid; demulsifier; water clarifier; oily sludge; review