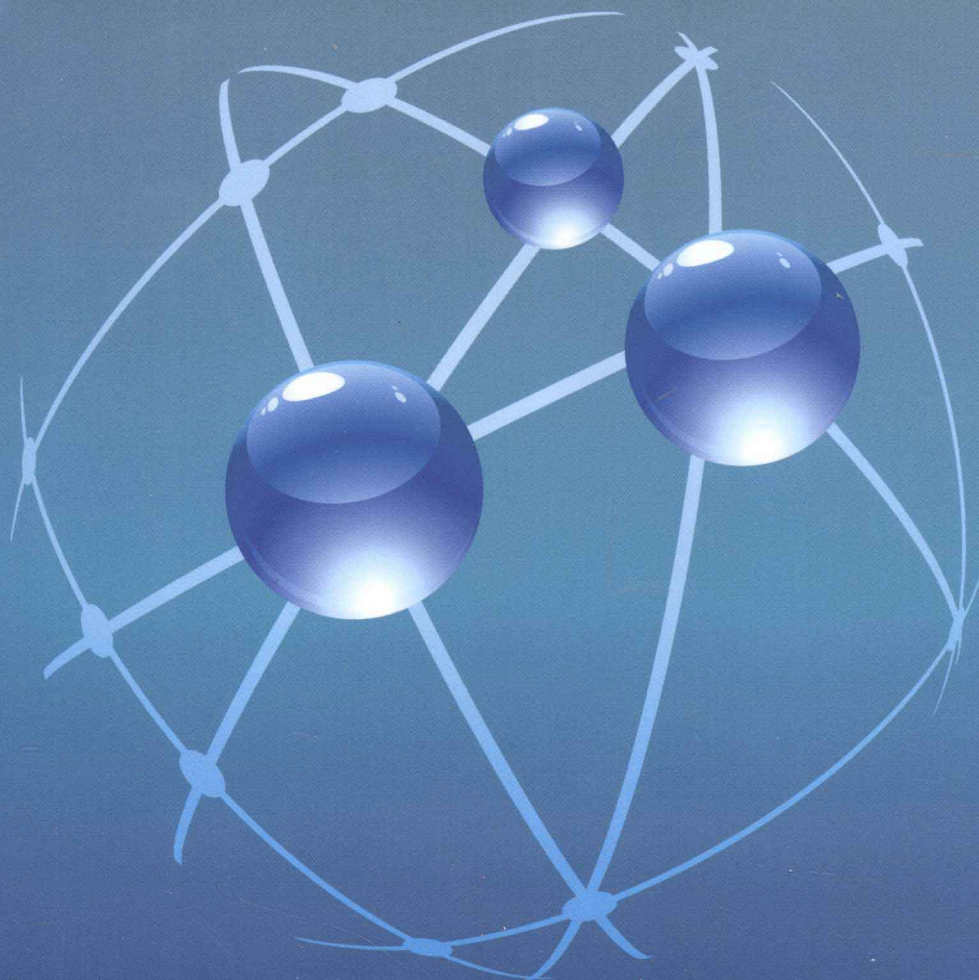


三次采出液 处理技术及应用

董培林 寇杰 曹学文 编著



中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

三次采出液处理技术及应用

董培林 寇 杰 曹学文 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书较全面地介绍了三采液油气水三相分离的原理和设备、老化油和原油电脱水的原理和设备、含聚污水的各种处理原理和工艺设备,以及与原油处理、污水处理配套的化学处理技术、油砂油泥处理工艺技术等方面的内容。

本书可供从事油气集输、污水处理的管理人员、技术人员和工艺设计人员参考和使用。

图书在版编目(CIP)数据

三次采出液处理技术及应用 / 董培林, 寇杰, 曹学文编著.
—北京: 中国石化出版社, 2010. 9
ISBN 978 - 7 - 5114 - 0618 - 7

I. ①三… II. ①董…②寇…③曹… III. ①三次采
油 - 处理 - 技术 IV. ①TE357. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 190358 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 14 印张 343 千字

2010 年 10 月第 1 版 2010 年 10 月第 1 次印刷

定价: 36.00 元

前 言

随着石油开发的进程，世界上工业发达的产油国家对提高原油采收率给予了足够的重视，在一次采油、二次采油后，又发展了施予能量或注入驱油剂开采油层残余油的三次采油。目前，三次采油主要有热力采油、化学驱油和混相驱油等方法。聚合物驱油是目前化学驱油中发展最快也很有潜力的一种增产措施，在各种化学驱方法中，聚合物驱油是唯一一种经过一定规模的工业性试验而获得较好驱油效果的方法之一。它是以聚合物水溶液为驱替相的驱油方法。聚合物驱油的突出特点是改善驱替相与被驱替相的流度比，降低驱替相指进，提高波及系数，达到提高采收率的目的。但是，聚合物驱油也给后续油、气、水的处理带来了问题。含聚合物的采出液成为一种复杂的油水体系，采出液黏度增大，原油乳化严重，油水很难靠自然沉降分离，其较注水驱采出液更加难以处理。在原油脱水方面表现为脱水率降低、污水质量下降、水中有杂质生成、油水界面不清晰且有中间层，电脱水系统不能正常运行。在脱水后污水处理方面表现为采出液黏度增加，油水分离速度减慢、污水处理能力下降，加之 O/W 型乳状液的形成，使处理后的污水含油超标，残留的 HPAM 与阳离子型絮凝剂和混凝剂共存时影响絮凝沉降效果，导致污水含油量和悬浮物含量严重超标。可见，聚合物的存在已严重影响了原油脱水和含油污水的处理效果。故了解有关含聚合物采出液相关的处理原理、设备、工艺技术等具有重要的意义。

本书较全面地介绍了三采液油气水三相分离的原理和设备、老化油和原油电脱水的原理和设备、含聚污水的各种处理原理和工艺设备，以及与原油处理、污水处理配套的化学处理技术、油砂油泥处理工艺技术等方面的内容。结合中国石化胜利孤东采油厂的生产实际，形成了解决孤东原油电脱水技术难题的技术路线和改造投资方案。本书主要内容为七章：第一章详细介绍了聚合物驱采出液的性质及其对开发、集输方面的影响；第二章描述了破乳剂、污水处理药剂等聚合物驱化学处理药剂，特别介绍了在东二联试验的一种新型油水综合处

理剂；第三章对含聚采出液地面处理工艺进行了简要的概述，并对重力分离、离心分离等原理及其设备进行了介绍；第四章叙述了国内外原油电脱水器技术，并介绍了老化油处理的装置，结合东一联的现场试验对其进行了检验；第五章对含聚合物的污水处理进行了描述，并详细介绍了油田污水处理的技术及其设备；第六章在第五章的基础上，结合孤东油田的实际情况，提出了四种污水处理的改造方案，对四种方案的设备、流程等进行了详细介绍分析；本书最后一章介绍了聚合物采出液含油污泥的性质，并详细介绍了国内外污泥处理的技术状况。本书在附录中给出了国内部分油田采出水水质以及我国的污水处理标准，以供参考。

本书第1、2、3章由董培林编写，共约12万字；第4、5章由寇杰编写，共约14万字；第6、7章由曹学文编写，共约10万字。全书由董培林统稿。

在本书搜集材料的过程中，很多单位和个人提供了许多翔实的资料，在此对他们表示深深的谢意。在编写过程中，参考了许多专家、学者的著作和研究成果，杨文、王巍、宋春华做了大量的文字校对工作，在此也向他们表示衷心地感谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不恰当之处，敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 聚合物驱采出液性质及其影响	(1)
1.1 聚合物驱采出液基本性质	(2)
1.1.1 含聚采出液的性质表征	(2)
1.1.2 含聚采出液物性测量	(5)
1.1.3 含聚采出液稳定性分析	(5)
1.1.4 含聚采出液的特征	(7)
1.2 聚合物驱采出液对开发的影响	(8)
1.2.1 油藏开发现状	(8)
1.2.2 水质不达标对开发的影响	(9)
1.3 聚合物驱采出液对集输的影响	(13)
1.3.1 斯托克斯(Stokes)定理	(13)
1.3.2 孤东集输、污水处理工艺现状	(14)
1.3.3 聚合物含量增加对集输生产的影响	(15)
1.3.4 含聚采出液对污水处理的影响	(16)
第 2 章 聚合物驱采出液化学处理用剂	(17)
2.1 乳化及破乳剂的研究与应用	(17)
2.1.1 含聚采出液的稳定机理	(17)
2.1.2 乳状液破乳机理	(19)
2.1.3 破乳剂的研究与应用	(27)
2.2 污水处理药剂的研究与应用	(30)
2.2.1 絮凝机理	(31)
2.2.2 LGS-2 原油预脱水剂的应用	(31)
2.2.3 SCL-1 油水分离剂的应用	(31)
2.2.4 阳离子聚丙烯酰胺的应用	(32)
2.3 新型油水综合处理剂在东二联 ARK-88(D201、D202)的应用	(32)
2.3.1 试验前东二联生产情况	(32)
2.3.2 药剂室内试验	(33)
2.3.3 东二联油水综合处理剂现场试验	(34)
第 3 章 采出液处理工艺及设备	(38)
3.1 含聚采出液地面处理工艺系统	(38)
3.1.1 聚合物采出液物理处理工艺概况	(38)
3.1.2 集输工艺单元及主要工艺设施	(38)
3.2 地面处理系统优化与仿真	(39)
3.2.1 地面采出液处理系统优化	(39)

3.2.2	采出液地面处理系统仿真	(40)
3.3	聚合物驱采出液重力油气分离	(41)
3.3.1	重力油气分离原理	(41)
3.3.2	重力式油气分离器设计	(41)
3.3.3	重力油气分离器结构	(43)
3.3.4	重力油气分离脱水流程	(43)
3.4	聚合物驱采出液离心力分离	(45)
3.4.1	离心机分离	(45)
3.4.2	旋流分离	(46)
3.5	新型处理设备及其在采出液处理中的应用	(49)
3.5.1	大庆聚丙烯波纹板填料网分水器	(49)
3.5.2	HNS 型分水器	(50)
3.5.3	河口采油厂高效分水器	(52)
3.5.4	加拿大油气处理设备	(53)
3.5.5	孤东分水器	(53)
第 4 章	原油电脱水器技术	(63)
4.1	国内外技术发展及现状	(63)
4.2	电脱水器工作原理	(64)
4.3	SHE 型电脱水器的技术特点	(65)
4.3.1	安全可靠, 工艺技术先进	(65)
4.3.2	抗弧型高压电绝缘吊挂	(66)
4.3.3	HD 型高压电引入装置	(66)
4.3.4	自旋型排污反冲洗	(66)
4.4	改造设计依据	(67)
4.4.1	改造依据	(67)
4.4.2	室内重质原油乳状液电脱水实验	(68)
4.5	设计目标、操作条件及技术指标	(69)
4.6	技术方案	(69)
4.6.1	电化学破乳	(69)
4.6.2	沉降分离	(70)
4.6.3	技术方案	(70)
4.6.4	主要工程量及投资	(73)
4.6.5	技术经济效益分析	(73)
4.7	高频脉冲电脱水一体化装置	(74)
4.7.1	概述	(74)
4.7.2	高频脉冲电脱水工作原理	(75)
4.7.3	老化原油专用破乳剂的研制	(76)
4.7.4	高频电脱水设备的研制	(77)
4.7.5	移动式老化原油处理装置的研制	(78)
4.7.6	老化原油处理现场试验	(83)

4.7.7 老化原油处理装置应用方案	(86)
4.8 孤东采油厂联合站原油集输脱水工艺技术	(88)
第5章 含聚合物的污水处理	(89)
5.1 概述	(89)
5.2 污水处理标准	(91)
5.3 聚合物驱采出水组成	(92)
5.4 油田采出水处理流程	(92)
5.4.1 常规污水处理流程	(93)
5.4.2 外排污水处理流程	(94)
5.4.3 锅炉回用污水处理流程	(95)
5.5 油田污水处理原理	(96)
5.5.1 污水的物理处理方法及其原理	(96)
5.5.2 污水的化学处理方法及其原理	(98)
5.5.3 污水的物理化学处理方法及其原理	(105)
5.5.4 污水的生物处理方法及其原理	(107)
5.6 油田污水处理技术及设备	(109)
5.6.1 膜分离技术	(109)
5.6.2 磁分离技术	(115)
5.6.3 重力除油技术	(121)
5.6.4 气浮法	(121)
5.6.5 凝聚过滤——粗粒化法	(123)
5.6.6 普通过滤与精细过滤	(123)
5.6.7 流砂过滤装置	(131)
5.6.8 横向流除油器处理油田含油污水的研究	(133)
5.6.9 动态水力旋流器处理	(134)
5.6.10 旋流混合反应澄清装置	(134)
5.6.11 复合式分离	(136)
5.6.12 超声波技术	(136)
5.6.13 微生物处理技术在油田的试验应用	(139)
5.6.14 人工湿地	(139)
5.7 三采液实用新技术	(142)
5.7.1 CoMag 磁铁粉装置	(142)
5.7.2 GQF 高效气浮技术	(144)
5.7.3 DNF 气浮技术	(146)
5.7.4 OPS 气浮技术	(149)
5.7.5 聚合物采出液废水紫外线杀菌技术	(153)
第6章 含聚采出液(污水)处理工艺	(159)
6.1 孤东含聚采出液处理方案的确定	(159)
6.2 方案设计	(160)
6.2.1 总体方案设计	(160)

6.2.2	设计规模	(161)
6.2.3	设计总体原则及拟解决问题	(161)
6.2.4	改造方案	(162)
6.2.5	主要建(构)筑物、设备选型及设计参数	(164)
6.2.6	主要工程量	(171)
6.2.7	工艺技术分析	(173)
6.2.8	效益分析	(174)
第7章	聚合物采出液油泥砂泥处理技术	(175)
7.1	含油污泥的产生	(175)
7.2	含油污泥的特性	(175)
7.2.1	含油污泥的物理特性	(175)
7.2.2	含油污泥的化学特性	(177)
7.2.3	含油污泥的生物特性	(178)
7.3	含油污泥的危害	(178)
7.4	含油污泥处理的国内外技术状况分析	(179)
7.4.1	国内外技术状况	(179)
7.4.2	从含油污泥中回收原油技术	(191)
7.4.3	污泥的无害化处理介绍	(192)
7.4.4	含油污泥的综合利用介绍	(194)
7.4.5	几种主要含油污泥处理方法比较	(195)
7.4.6	含油污泥现场常用处理工艺流程	(195)
7.5	孤东油田油泥砂处理	(199)
7.5.1	现状分析	(199)
7.5.2	含油污泥处理方案	(200)
参考文献		(211)
附录		(212)
附录1	国内油田部分污水站原水水质分析表	(212)
附录2	推荐注水水质主要控制指标	(213)
附录3	第一类污染物最高允许排放浓度	(214)
附录4	污水海洋处置工程主要水污染物排放浓度限制	(216)
附录5	锅炉用水给水水质条件	(216)

第 1 章 聚合物驱采出液性质及其影响

早期的石油开发主要依靠油层原有的能量,称为一次采油,采收率只有 5% ~ 10%。20 世纪 30 年代到 40 年代,开始推广以补充油藏能量的注水注气技术为主的二次采油工业技术,使石油的采收率提高到 30% ~ 40% (有的油田还要高,我国主要油田均利用水驱提高采收率),采用二次采油技术后,仍有 60% ~ 70% 石油留在油藏中。为了更多地采出这部分石油,又发展了施于能量或注入驱油剂开采油层残余油的强化采油技术(EOR)——三次采油技术,以提高采收率。

所有工业发达的产油国家(美国、加拿大、英国、德国、前苏联等)政府的能源规划中均把提高原油采收率的问题看作是增加其石油资源和解决石油短缺问题的一种手段而给予极大的重视。目前,强化采油技术主要有热力采油、化学驱油和混相驱油等方法。热力采油包括蒸汽驱、蒸汽吞吐(包括注热水)以及火烧油层。化学驱油法包括表面活性剂-聚合物驱油法、聚合物驱油法、碱性水驱油法、碱-聚合物驱油法和碱-表面活性剂-聚合物联合驱油法等。混相驱油法可分为混相烃驱油、二氧化碳驱油和惰性气体驱油等过程。

聚合物驱油是目前化学驱油中发展最快也很有潜力的一种增产措施,在各种化学驱方法中,聚合物驱油是惟一种经过一定规模的工业性试验而获得较好驱油效果的方法之一。它是以聚合物水溶液为驱替相的驱油方法。聚合物驱的突出特点是改善驱替相与被驱替相的流度比,降低驱替相指进,提高波及系数,达到提高采收率的目的。

我国的聚合物驱起步较早,在 20 世纪 60 年代就开始了小型聚合物驱矿场试验,经过“七五”到“九五”的连续攻关,聚合物驱已经开始了工业化矿场应用。1997 年,聚合物驱产油量居世界首位;1998 年,聚合物驱项目 16 个,而同期美国只有 10 个。聚合物驱油开采面积及产量不断增加,在保证我国油田原油稳定生产中发挥着不可替代的重要作用。胜利、大庆、河南、大港等油田相继开展了聚合物驱油,现场反馈的情况是:由于采出液中含聚合物,原来使用的原油脱水和污水处理方法,从技术上或从经济上已难以适应,导致采出液油水分离困难,主要表现在脱出水中含油较多。聚合物驱油技术的推广应用,使得聚合物驱油采出液总量大幅度上升。为适应油田的开发,针对聚合物驱采出液的油水分离进行科研攻关,形成相对完整的地面处理配套技术,可以为聚合物驱油技术的推广应用奠定基础,从根本上解决该复杂混合乳状液油水分离这个技术难题。

孤东油田是我国投入开发的大型稠油疏松砂岩油藏,随着孤东油田的不断开发,已进入特高含水期,目前综合含水已达 95% 以上。为了实现“稳产高产”的目标,在开发技术的发展上也进入了聚合物驱油这一三次采油阶段。实践证明,此项措施的实施对于提高原油产量、保证油田的长期稳产起到了不可估量的作用。

由于聚合物采油技术在国内尚属工业性先导试验阶段,试验过程中少量的聚合物采出水与大量的注水采油污水一起进入联合处理站进行处理。由于稀释作用,利用现有的常规处理流程可以实现处理回注的要求。但随着聚合物的注入,导致采出液中含有聚合物而使黏度升高,水中油滴和固体悬浮物的乳化稳定性增强,形成油包水和水包油的复杂稳定乳化液,进

而导致油水分离和含油污水处理的难度加大；而且利用常规处理工艺处理含聚采出液难以达到回注地层的水质要求。如孤东油田 1987 年开发，目前已进入高含水开采期，采出污水量高达 $13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，现有大型污水处理站四座，设计处理能力 $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。近年来由于受大规模注聚、热采的影响，污水处理难度加大，污水站出水水质变差，污水治理形势严峻。东二联污水站自 2005 年 6 月开始，污水中聚合物含量由 10 mg/L 升高到 100 mg/L 左右，同时分水器出口含油也由 2005 年 7 月以前的 500 mg/L 左右，升高到 5000 mg/L 以上，超出了污水处理站设计处理能力（设计进站含油低于 500 mg/L ），污水进污水处理站一次除油罐和二次除油罐后也难以沉降，出口含油大幅提高，一次除油罐出口含油达 1000 mg/L 以上，各级除油设备出口含油也明显上升，外输污水含油最高达 600 mg/L 以上，悬浮物含量在 100 mg/L 以上，远远达不到回注水水质要求。水质差加剧了注水系统的设备、管线老化腐蚀，降低其使用寿命，同时又堵塞地层，注水压力升高，降低采收率，影响原油产量。

随着聚合物驱油地面工程规划方案的实施，将有更多的聚丙烯酰胺、磺酸盐应用于更大面积的油田上，将会有更多的含聚合物采出液产生。由于该种采出液具有黏度大、污染物含量高，而且乳化程度高、难以从水中分离的特性。因此，聚合物采油污水的处理问题已经逐渐引起人们的重视，目前聚合物驱采油污水的处理尚处在科研攻关现场试验阶段。鉴于目前聚合物驱油的工作进展，地下注入的技术和工艺已经完成，地上采出部分的含油污水如不能得以很好的治理，将直接影响到三次采油技术的大规模应用。

因此，开展包括以物理（主要以四相分水器、污水气浮）、化学（主要以新型油水综合处理剂）、生物方法进行含聚采出液的处理已经成为油田地面处理工艺研究的重要课题之一，也是关系到降低原油开采成本与提高开采价值等经济效益的关键问题之一。

1.1 聚合物驱采出液基本性质

油田采出液中通常都含有水，原油中所含的水分可以分为两种类型，一种是在常温下用静止沉降法短时间内就能从油中分离出来，这类水称为游离水；而有的则很难用沉降法从油中分离出来，这类水称乳化水，它与原油的混合物称油水乳状液，或原油乳状液。原油和水构成的乳状液主要有两种类型。一种是水以极微小的颗粒分散于原油中，称油包水型乳状液，用符号 W/O 表示，此时水是内相或称分散相，油是外相或称连续相，W/O 乳状液是油田最常见的原油乳状液。另一种是油以极微小颗粒分散于水中，称为水包油型乳状液，用符号 O/W 表示，此时油是内相，水是外相。在原油处理中 O/W 乳状液很少见，采出水中常存在 O/W 乳状液，故水包油型乳状液又称反相乳状液。此外，还有复合乳状液，即油包水包油型、水包油包水型等，分别以 O/W/O 和 W/O/W 表示。聚合物驱采油常产生 O/W/O 型复合乳状液。

1.1.1 含聚采出液的性质表征

由于聚合物的存在，使油水形成稳定的乳状液，导致油水分离困难。而不同的油田采出液具有不同的特征，因此对含聚乳状液性质进行表征和测定是提出处理方案的前提。乳状液的性质主要包括分散相粒径分布、流变性、稳定性和界面性质等。

1. 乳状液分散相粒径分布

乳状液分散相液滴粒径大小及其分布是乳状液的重要标志之一。大多数实验中测得的是在各种尺寸范围内的颗粒数目，在液滴的粒径为单分散分布的情况下，可以用一个光滑的连续函数来表征液滴的粒径分布，称为分布函数。

Schwarz 和 Bezemer 提出的乳状液液滴粒径分布模型为：

$$y = \frac{dn}{dx} \frac{100}{N} = \frac{100}{6} \frac{e^{a/X}}{1 + \frac{a}{X} + \frac{a^2}{2X^2} + \frac{a^3}{6X^3}} \frac{a^4}{x^5} e^{-a/x} \quad (1-1)$$

式中 x ——液滴直径， μm ；

n ——直径为 x 的液滴数；

N ——液滴总数；

X ——最大液滴直径， μm ；

a ——取决于两相性质和乳化条件的常数。

液滴直径的大小可以用假想的单分散乳状液相应的平均液滴的直径来表示。液滴的平均粒径的定义有 6 种方法：

$$a_{10} = \frac{\sum a_i n_i}{\sum n_i} \quad (1-2)$$

$$a_{10} = \left(\frac{\sum a_i^2 n_i}{\sum n_i} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1-3)$$

$$a_{21} = \frac{\sum a_i^2 n_i}{\sum a_i n_i} \quad (1-4)$$

$$a_{31} = \left(\frac{\sum a_i^3 n_i}{\sum a_i n_i} \right) \quad (1-5)$$

$$a_{32} = \frac{\sum a_i^3 n_i}{\sum a_i^2 n_i} \quad (1-6)$$

式中 a_i ——液滴直径；

n_i ——液滴直径为 a_i 的液滴个数。

评价乳状液液滴粒径分布中还使用不同累计体积百分数所对应的液滴粒径，如 30%、50%、90% 和 100% 粒径。

2. 流变性

影响胶体黏性的重要因素包括：(1) 连续相介质的黏度；(2) 分散相介质的黏度；(3) 分散相体积分数；(4) 界面膜的性质；(5) 分散相粒径分布。悬浮体黏度、连续相介质黏度和分散相体积分数的经典公式是由 Einstein 自流体力学理论导出的：

$$\eta = \eta_c (1 + 2.5\phi) \quad (1-7)$$

式中 η ——乳状液黏度， $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ；

η_c ——连续相黏度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$;

ϕ ——分散相的体积分数, %。

上式只适合于 ϕ 不大于 2% 的极限情况。

Richardson 导出了另外一种形式的公式:

$$\eta = \eta_c e^{k\phi} \quad (1-8)$$

式中 k ——常数。

一般来说, 乳状液中分散相体积分数大于 0.5 就表现出显著的非牛顿特性。对此种体系, Hatschek 导出了下面的著名公式:

$$\eta = \frac{\eta_c}{1 - \phi^{1/3}} \quad (1-9)$$

由于分散相液滴在剪切应力作用下会发生变形、定向和产生内部环流, 乳状液的黏度一般低于具有相同连续相黏度和内相体积分数的固体悬浮液的黏度, 并受分散相黏度的影响。Taylor 扩展了 Einstein 的经典公式, 假设界面膜只将切向应力自一相传给另一相, 得到了下面的关联式:

$$\eta = \eta_c (1 + 2.5\phi) \left(\frac{\eta_c + \frac{2}{5}\eta_d}{\eta_c + \eta_d} \right) \quad (1-10)$$

式中 η_d ——分散相的黏度。

乳状液的黏度还受界面膜性质的影响, 界面上吸附的表面活性物质使界面膜产生黏弹性, 阻碍液滴内的环流, 使乳状液的黏度增大。乳状液黏度的非牛顿特性还可作为其稳定性评价的一个指标, 其黏度随剪切速率增大降低得越明显, 稳定性越差。

乳状液分散相液滴之间的作用力受其上所带的电荷影响产生电黏度效应。一般情况下, 液滴表面上的电荷使乳状液黏度增大。分散相体积分率大于某一临界值时, 乳状液还具有黏弹性和屈服值。黏弹性的来源是两相间的界面张力, 界面张力对液滴在剪切应力作用下发生的变形有恢复作用。乳状液黏度随分散相液滴粒径减小而增大。

3. 乳状液稳定性

乳状液的稳定性主要取决于界面膜的性质、连续相和分散相的流变性、分散相液滴粒径分布、分散相体积分率和两相间的密度差。

用于乳状液稳定性评价的方法是多种多样的, 可分为以下几类:

- (1) 测定液滴尺寸随时间的变化;
- (2) 测定乳状液不同位置分散相浓度的变化;
- (3) 测定分离出的分散相和连续相的体积量;
- (4) 测定乳状液不同位置电导率差值的变化情况。

W/O 型原油乳状液稳定性测试中主要采用测定分离出游离水量随时间变化的所谓“瓶试法”, 即将一定量的原油乳状液置于带有刻度的透明容器中进行重力或离心沉降, 每隔一定的时间间隔读取容器底部分离出的游离水的体积量作为评价原油乳状液稳定性的依据。

含油量小于 1% 的 O/W 是将反相原油乳状液置于透明容器中进行重力或离心沉降, 每隔一定的时间间隔从容器底部放出一定量的底水测定水中的含油量作为评价反相原油乳状液稳定性的依据。

1.1.2 含聚采出液物性测量

1. 聚合物 HPAM 含量测定

研究 HPAM 溶液的理化性能,对充分掌握该聚合物的性质是很重要的,也是选择合理的混凝剂条件的重要参考依据。采出液中 HPAM 含量是决定采出液处理方法的重要因素。通常可以采用氨电极法测定采出液中 HPAM 的含量。由于氨电极膜具有选择渗透性和调节离子强度的作用,除挥发性胺外,几乎所有的阴阳离子都不干扰测量。

2. 含油量测定

采出液含油量通常用 OCMA2220 型油分浓度分析仪、以四氯化碳为溶剂测定。

3. 粒度测定

乳状液粒径的测定可采用显微统计法、激光散射法、超声波法以及超速离心机法,其中使用最广泛的为激光散射法。近年来,准弹性光散射仪的出现使得多分散胶体粒径颗粒分布测定精度大大提高,准弹性光散射仪与光导纤维的结合,使胶体粒子粒径的在线测量成为可能。

图 1-1 为部分油田聚合物驱油井采出水相悬浮物直径的质量分布。

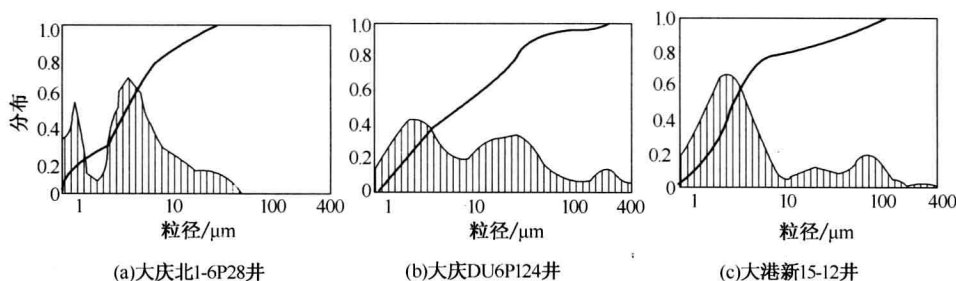


图 1-1 聚合物采出液水相中悬浮物直径的质量分布

无机离子含量是表征水质的最重要指标,是解决采出液排放和处理问题的基础数据,其中重金属离子是造成水质严重污染的因素。汞可用测汞仪测定,其余金属可用美国 Jarrell - Ash 的 ICAP9000SP 型等离子发射光谱仪测定;碳酸根、碳酸氢根等阴离子用滴定法测定,其余阴离子用美国 Dionex24500i 型离子色谱分析仪测定。

4. 其他水体污染物

在聚合物驱采出液水相中,水体污染物主要有油分、硫化物、酚、化学需氧量(COD)、悬浮物、细菌(TGB、SRB)等,其含量决定了该污水能否排放或回注。GB 3838—2002《地面水环境质量标准》对这些污染物的允许浓度作了严格规定,石油天然气行业标准 SY/T 5329—94《碎屑岩油藏注水水质推荐指标及分析方法》提出了注水水质的指标和相应的测量方法。

1.1.3 含聚采出液稳定性分析

1. 聚丙烯酰胺对污水含油浓度和黏度的影响

图 1-2 是孤东油田某试验中聚丙烯酰胺对三相分离器产出废水黏度和油水分离性能的

影响。废水黏度随着 HPAM 的浓度增加而增加，而废水中的油浓度变化曲线则是成“V”字形。当 HPAM 浓度由 0 增加到 400mg/L 时，含油浓度从初始的 430mg/L 降到临界最小值 164mg/L。然后当 HPAM 浓度继续由 400mg/L 增加到 1200mg/L 时，油浓度由最低点上升到 795mg/L。显然在 HPAM 浓度低于 795mg/L 时，其污水含油浓度比不加聚合物时的污水含油浓度低。故在 HPAM 浓度低于 795mg/L 时废水黏度低于 $1.75\text{mPa} \cdot \text{s}$ ，可以发生有效的油水分离。这是因为 HPAM 是高分子聚合物，具有絮凝作用，可使单个油滴聚结成较大的油滴，以利于油水分离。

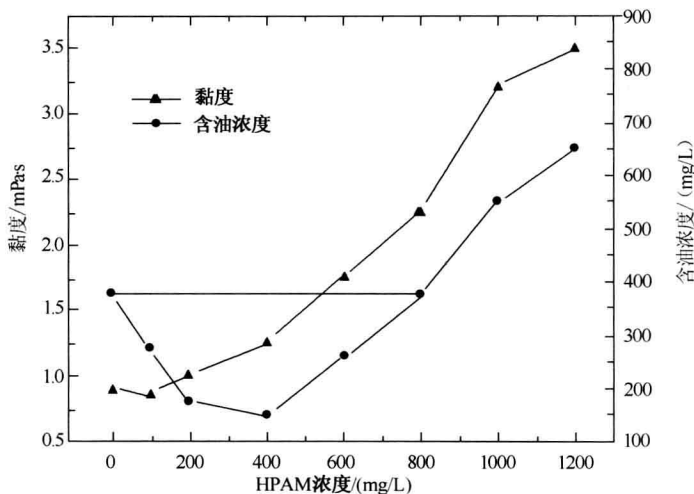


图 1-2 含油污水黏度与聚合物 HPAM 浓度关系

2. 界面弹力的影响

采出水中的残余油浓度由产出液中油滴的聚结程度决定。油滴聚结越多，残余油含量越少。当两个油滴相互接近时，油滴表面会形成一层水膜。若要两滴聚并为一滴，必须使水膜破裂。因此水膜的强度决定了油滴聚结的难易程度。界面弹性的引入量化了液体界面的吸附乳化层的膜强度。图 1-3 为 HPAM 浓度对界面弹力的影响。

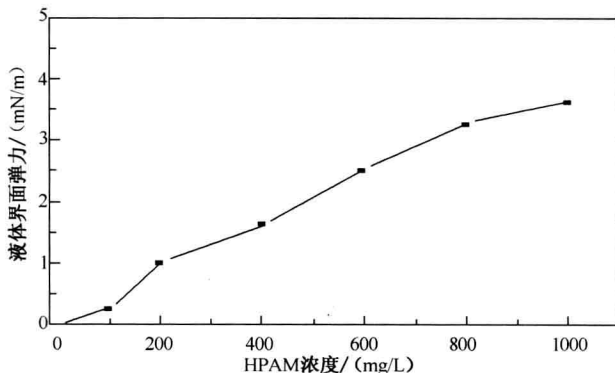


图 1-3 液体界面弹力与 HPAM 浓度的关系

如图 1-3 所示，界面弹力随着聚合物浓度的增加而增加，这表明聚合物增加了油滴聚结的难度。由于产出液含有聚合物，水膜在油滴聚结时难以破裂。当一些表面活性剂用于稳

定乳状液时,界面弹力就会随着表面活性剂含量的增加而增加。这就是聚合物驱产出液难以处理的原因。

1.1.4 含聚采出液的特征

采出水的黏度增加了。45℃时水驱采出水的黏度一般为 $0.6\text{mPa}\cdot\text{s}$,而聚合物驱采出水的黏度随着聚合物含量的增加而增加,一般为 $0.8\sim 1.1\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。

采出水中的油珠变小了。通过粒径测试发现聚合物驱采出水中油珠粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的占 90% 以上,油珠粒径中值为 $3\sim 5\mu\text{m}$,游离水色发黄呈泥浆状。

微观测试结果表明聚合物使油水界面水膜强度增大,界面电荷增强,导致采出水中小油珠稳定地存在于水体中。

采出液受剪切作用很容易进一步乳化,油珠之间聚合成大油珠的能力下降。

采出液含聚后,特征发生变化主要是由聚丙烯酰胺引起的,主要原因如下文分析。

1. 聚丙烯酰胺是水溶性聚合物

聚丙烯酰胺尽管可使油相黏度降低,有利于水滴的运动碰撞,但聚合物分子在油水相界面分布,增加了水化层的厚度,使界面膜强度增高,表面张力增大,从而形成了难以破乳的“皮膜”,使水滴在相互碰撞中破裂而聚集成大水滴的几率减小。水滴的“聚而不集”,使原油乳状液分离特性变差,增加了其破乳难度。

采出液含聚后,水滴“聚而不集”几率的增加以及水滴在平挂电场中运动的同向性,使水滴在平挂电场中成“链”长度与存留时间较长。“链”长导致电场运行极不稳定,存留时间长使电场破坏后不易恢复。

采出液含聚后使乳状液导电特性发生变化,电导率增加,电场泄漏电流增大。

2. W/O 和 O/W 混合乳化层加厚

在静置沉降分离测试中,发现在经过约 10min 静止沉降分离后,在上部油层和下部水层中间出现较严重的中间混合乳化层。这一混合乳化层与油层和水层间的界面随沉降时间的延长而逐渐清晰,且逐渐变薄,在投入一定量的破乳剂后,经较长沉降时间,混合乳化层可消除。中间乳化层的厚、薄、顽固与否,与采出液中聚合物的浓度和含水率的高低有关。聚合物的浓度越高,含水率越低,中间乳化层越厚,越难以消除,甚至沉降时间增加到 60min 时,仍不消失。通过对中间混合乳化层取样分析,它是由 W/O 和 O/W 型两种乳化液混合组成,油水比率约在 50% 左右,其破乳难度高于单纯的 W/O 或 O/W 型乳状液。经分析认为,中间混合乳化层的出现,是由于聚合物使得水相黏度增大,油水间的相互粘滞力加大,油水乳化强度增高,而导致两种乳状液分离速度变慢,产生破乳困难的结果。中间混合乳化层的存在给油水界面的控制带来了困难,使得处理时间延长,界面不易控制,脱水后污水含油率和油中含水率都增高。

3. 破乳剂的破乳效果变差

据界面化学的理论分析,聚合物水溶液属于黏弹性物质,在地层中驱替、运移和采出,输送过程中,由于聚合物水溶液黏度和采出液含水率都较高,使采出液易于形成更多的 O/W 型乳状液。这种乳状液外相为聚合物水溶液,其黏弹性使得水界面膜强度增高,增大了液滴抗撞击能力。而破乳剂的破乳机理主要是降低油水界面张力,对界面膜强度没能起到有效的降低作用,因此破乳效果下降,脱水后污水含油率较高。

1.2 聚合物驱采出液对开发的影响

1.2.1 油藏开发现状

1. 地质概况

孤东油田位于山东省东营市境内,黄河入海口北侧。孤东构造是一个在中、古生界潜山背景上发育起来的第三系披覆背斜构造,虽被断层切割,但构造主体部分背斜形态仍较完整。构造走向近南北,东西两翼不对称,东翼平缓简单,西翼陡而复杂。构造闭合面积约 100km^2 ,含油面积 61.8km^2 。受断层分割,西部自北而南依次为一区、二区、三区、四区,东部自北而南依次为六区、七区、八区、九区。

孤东油田自上而下共发育有:上第三系馆陶组、下第三系东营组、沙河街组和中生界四套含油层系。其中馆陶组为主要含油层系,储量占全油田储量的 87.9% 。馆陶组分为 Ng1 + 2、3、4、5、6、Ng 下六个砂层组(段),Ng3、4、5、6 砂层组是主要开发对象,共有 23 个小层,其中 Ng52 + 3、54、55、61、62 为主力油层,平面上连片分布,平均有效厚度 $5 \sim 10\text{m}$,其他层发育较差。

馆陶组储层为一套河流相沉积的粉细砂—中细砂岩,油层埋深 $1195 \sim 1450\text{m}$,压实差,胶结疏松,易出砂,平均孔隙度 33.3% ,空气渗透率 $1568 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,地层原油黏度 $30 \sim 130\text{mPa} \cdot \text{s}$,地面原油黏度 $450 \sim 5000\text{mPa} \cdot \text{s}$,地面原油密度 $0.95 \sim 0.99\text{g}/\text{cm}^3$ 。原始地层压力 13.35MPa ,地饱压差 $0.4 \sim 4.1\text{MPa}$ 。

2. 开发现状

截止到 2007 年 10 月,孤东油田探明含油面积 61.8km^2 ,地质储量 $26452 \times 10^4\text{t}$,动用储量 $26270 \times 10^4\text{t}$,标定可采储量 $8049 \times 10^4\text{t}$,采收率 30.6% 。

2007 年 10 月,孤东油田油井总数 1703 口,开井 1509 口,日产液量 114138t ,日产油量 5913t ,单井日产液量 75.6t ,单井日产油量 3.9t ,综合含水 94.9% ,年产油 $213.05 \times 10^4\text{t}$,累积产油 $7297.4 \times 10^4\text{t}$,采出程度 27.44% ,可采储量采出程度 90.66% ,采油速度 0.8% ,水井总数 893 口,开井 736 口,日注水平 105944m^3 ,单井日注 151m^3 ,累积注水 $76278 \times 10^4\text{m}^3$,月注采比 0.96 ,累积注采比 1.0 ,地层总压降 0.83MPa 。

不合格污水对地层造成污染,导致注水压力升高,吸水能力下降,扶停攻欠工作量逐年增加。

孤东油田属于疏松砂岩油藏,平均渗透率较高,采用的水质标准为 C3 级,由于地层发育的不均匀性,层间、层内、纵向和平面上的渗透率差异较大,从几十到上千毫达西,而 C3 级水质标准仅适合于 600 毫达西以上的地层,污水中的悬浮物和含油超标是堵塞地层的主要因素。近几年孤东油田注水井注入压力在注水量下降的情况下一直上升,平均油压从 10.6MPa 上升到 11.1MPa ,上升了 0.5MPa ;孤东油田二区、六区、三区、四区、七区西、七区中等区块从 2000 ~ 2006 年不同渗透率下的视吸水指数均呈下降趋势,统计结果如下:注水井渗透率大于 2000 的视吸水指数由 20.8 下降到 $13.3\text{m}^3/\text{MPa}$,注水井渗透率在 1000 ~ 2000 的视吸水指数由 19.1 下降到 $13.8\text{m}^3/\text{MPa}$,