



聚合物驱油剂

及其应用

■ 冯志强 著

中国石油大学出版社

聚合物驱油剂 及其应用

◎ 冯志强 著



中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

聚合物驱油剂及其应用/冯志强著. —东营:中国石油
大学出版社,2008.6

ISBN 978-7-5636-2622-9

I. 聚… II. 冯… III. 高聚物—化学驱油—驱油剂
IV. TE357.46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 086877 号

书 名: 聚合物驱油剂及其应用
作 者: 冯志强

责任编辑: 高 颖(电话 0546—8393394)

封面设计: 郑 卉

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: ychl-369@163.com

印 刷 者: 东营石大博雅印务有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8392787,8392563)

开 本: 170×230 印张:13.5 字数:193 千字

版 次: 2008 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 31.70 元

PREFACE



前言

石油既是人们生产生活所必需的能源,也是化工材料生产的基本原料,亦是国家经济发展的重要战略资源。随着我国油田的不断开发,油藏的非均质情况日益严重,油田进入了高含水期。如何提高高含水油田的原油采收率是石油界普遍关注的问题。

聚合物驱油技术是高含水油田提高原油采收率的重要的三次采油技术,它的驱油机理主要是通过改善油水流动度比来提高水的波及系数,从而提高原油采收率。据最近的研究报道,聚合物还能通过聚合物溶液的黏弹性提高岩心的微观驱油效率。我国在聚合物驱油技术的应用上走在世界前列。从“七五”开始进行先导性试验到“八五”末,全国已进行了聚合物驱油矿场试验 19 个,均取得了明显的增油降水效果。“九五”期间,又对聚合物驱油技术进行了推广应用。目前,聚合物驱油已成为我国陆上老油田稳产的重大战略性技术。我国已成为世界上应用聚合物驱油技术规模最大、大面积增产效果最好的国家。

在油藏地质条件一定时,聚合物驱油的效果主要取决于驱油用水溶性聚合物的性能。可以利用的水溶性聚合物有聚丙烯酰胺及其衍生物、羟乙基纤维素和生物聚合物黄原胶等。目前,获得大规模推广应用的聚合物驱油剂是部分水解聚丙烯酰胺及其改性聚合物。为了满足高温、高矿化度油藏的开发要求,耐温、耐盐聚合物驱油剂正在研发当中。聚合物驱油剂的开发及应用涉及化工、材料和石油工程等多个学科。本书通过对聚合物驱油剂的结构性能特点、生产工艺、性能评价方法和现场应用效果的介绍,使读者对聚合物驱油剂有一个较为系统的认识,以便在从事聚合物驱油技术研究、开发和应用过程中参考。

本书的编写得到了辛伟博士、侯影飞博士和邢凡彬的帮助,林立刚博士

也参与了本书的编排,在此向他们表示感谢。

在本书的编写过程中还参考了一些国内外相关文献,在此向这些文献的作者们表示诚挚的谢意。由于聚合物驱油技术涉及的学科面广,相关的理论和应用也在不断发展,同时由于编者水平有限,书中错误在所难免,敬请读者和专家学者批评指正。

作 者

2008 年 5 月

CONTENTS



第 1 章 绪论	1
1.1 聚合物驱油剂在油田开发中的作用	3
1.2 聚合物驱油剂的发展历史与现状	5
1.2.1 国外聚合物驱油技术的发展历史与现状	5
1.2.2 国内聚合物驱油技术的发展历史与现状	7
1.3 聚合物驱油剂的分类及其特性	9
1.3.1 聚丙烯酰胺(PAM)	10
1.3.2 改性聚丙烯酰胺	15
1.3.3 生物聚合物黄原胶(XG)	17
1.3.4 改性的天然聚合物	18
参考文献	20
第 2 章 聚合物驱油剂的结构和性能	23
2.1 聚合物驱油原理	23
2.1.1 扩大波及系数	23
2.1.2 提高驱油效率	28
2.1.3 聚合物驱提高采收率的根源	30
2.2 聚合物驱油剂的结构特点	31
2.3 聚合物驱油剂的性能特点	32
2.3.1 聚合物的一般性质	32
2.3.2 聚合物的特殊性质	34
2.3.3 阻力系数和残余阻力系数	34
2.4 聚合物驱油剂的分子设计及新型聚合物驱油剂	36
2.4.1 聚合物驱油剂的分子设计	36
2.4.2 新型聚合物驱油剂	38

参考文献	52
第3章 聚合物驱油剂的制备	56
3.1 生物聚合物驱油剂黄原胶的制备	56
3.2 瓜尔胶的制备	59
3.2.1 物理增黏改性瓜尔胶	60
3.2.2 阳离子瓜尔胶	60
3.2.3 两性瓜尔胶	60
3.2.4 接枝共聚瓜尔胶	61
3.2.5 羟丙基瓜尔胶	61
3.3 合成聚合物驱油剂的制备	61
3.3.1 单体聚丙烯酰胺的制备	61
3.3.2 溶液聚合	66
3.3.3 悬浮聚合	71
3.3.4 反相乳液聚合	75
3.3.5 胶束聚合	87
参考文献	99
第4章 聚合物驱油剂的性能评价	106
4.1 基本理化性能评价	106
4.1.1 特性黏数的测定	106
4.1.2 固含量的测定	110
4.1.3 水解度的测定	110
4.1.4 溶解速度的测定	111
4.1.5 粒度的测定	111
4.1.6 残留丙烯酰胺含量的测定	111
4.2 聚合物驱油剂的溶液性能评价	111
4.2.1 表观黏度的测定	113
4.2.2 流变性的测定	113
4.2.3 剪切稳定性的测定	114

4.2.4 热稳定性的测定	116
4.2.5 盐敏性能的测定	117
4.2.6 筛网系数的测定	117
4.2.7 过滤因子的测定	118
4.2.8 水不溶物的测定	119
4.2.9 溶液中聚丙烯酰胺含量的测定	120
4.2.10 静态吸附量的测定	121
4.3 聚合物驱油剂的驱油性能评价	121
4.3.1 聚合物有效黏度的测定	122
4.3.2 阻力系数和残余阻力系数的测定	122
参考文献	124
第5章 聚合物驱油剂的应用	125
5.1 聚合物驱油剂的注入工艺	126
5.1.1 聚合物驱油剂注入工艺技术现状	126
5.1.2 聚合物驱油剂注入工艺流程	126
5.1.3 聚合物驱油剂注入工艺种类	128
5.1.4 聚合物驱油剂注入工艺设备	129
5.1.5 聚合物驱油剂注入工艺相关技术	131
5.1.6 聚合物驱油剂驱油配套技术	132
5.1.7 聚合物驱油剂注入工艺存在的问题及研究方向	134
5.2 聚合物驱油剂驱油效果的影响因素	135
5.2.1 聚合物结构	136
5.2.2 聚合物物理性质	138
5.2.3 物化环境	143
5.2.4 聚合物化学性质	150
5.3 提高聚合物驱油剂驱油效果的手段	150
5.3.1 提高聚合物驱油剂的耐温抗盐性	151
5.3.2 优化聚合物驱油剂的相对分子质量	155

5.3.3	优化注聚合物速度	156
5.3.4	优化注入次序	159
5.3.5	优化注聚浓度参数	161
5.3.6	提高注聚合物驱油剂后的原油采收率	163
5.4	聚合物驱的经济评价	166
5.4.1	聚合物驱油剂项目的技术特点	166
5.4.2	经济评价的原则和依据	167
5.4.3	聚合物驱项目的经济评价方法	167
5.4.4	聚合物驱的经济评价实例	174
5.5	典型现场应用实例	180
5.5.1	大庆油田聚合物驱油剂的应用现状	180
5.5.2	胜利油田聚合物驱油剂的应用现状	182
5.5.3	大港油田聚合物驱油剂的应用现状	189
5.5.4	江汉油田聚合物驱油剂的应用现状	191
5.5.5	河南油田聚合物驱油剂的应用现状	199
5.5.6	聚合物驱油剂驱油技术存在的问题和发展方向	200
参考文献		203

第1章 绪 论

石油是一种不可再生的资源,是国家发展的重要经济命脉。作为主要的能源和化工原料,石油在世界能源结构中的比例很大,但其储量却在不断减少。因此,采用各种方法提高原油采收率,充分利用石油资源极为重要。20世纪40年代以前,主要依靠天然能量进行油田开采,这就是一次采油。一次采油的特点是投资较少、技术简单、利润高,采收率一般只能达到15%左右^[1]。一百多年前的一次井下封隔器漏失事故启发人们在天然能量枯竭以后用人工注水增补油藏能量的方法(目前有注水和注气两种方法)继续开采,这就是二次采油。二次采油比一次采油投资多、技术复杂,能提高采收率15%~20%,但油井生产能力旺盛,经济效益仍然很高^[2]。二次采油是油田开发技术上的一个飞跃。渗流理论的发展使达西定律用于流体在多孔介质中渗流的研究,结果表明油井产量与压力梯度呈正比,在理论上阐明了二次采油在保持油层压力提高采收率上的重要作用。随着开采的深入,应用注水驱油的油田逐渐进入开发的中后期,由于储层的非均质性、油水流动度的不利影响,使这些油藏面临高含水的困扰。尽管储层仍然存在一定数量的水驱残余油,但油井含水升高,产量下降,产水量大幅度上升,基建投资增加,原油成本变大,无论是经济指标还是技术指标都变差。当二次采油末期油田含水上升到经济极限或者遇到不能进行注水开发的油藏时,为了更多地采出储层中的原油,需要选用某种注水、注气以外的新技术继续进行开采,这就是三次采油(Tertiary Oil Recovery)^[3]。二次采油后,仍有60%~70%的油残留在地下,难以采出。我国油田二次采油后,平均采收率为36.3%。对于地质条件差的储层,一次、二次采油后甚至还有约80%的石油储量留在储层中^[4]。据统计,截至1993年底,我国全国油田平均综合含水率达80%以上,进入高含水后期,可采储量采出程度达63%。从整体上

看,我国大多数油田已进入高含水、高采出程度阶段,但仍有 1/3 的油未被采出。由于国民经济的高速发展需要大量的能源,所以提高原油采收率成为我国石油工业持续发展的一项迫切战略任务。如何经济有效地开采水驱开发后残留在地层中 60%~70% 的剩余油,提高油藏的产量,成为困扰世界各国油藏工程专家的难题。为此,多年来国内外石油工作者进行了大量的研究工作,逐步意识到制约二次采油采收率进一步提高的因素,除采用加密井网外,三次采油仍然是一种最有发展前途的方法,它对于采出更多石油的重要性已为人们所认同^[5]。与二次采油相比,三次采油的特点是高技术、高投入、高采收率,但应用该方法仍可以获得较高的经济效益。如上所述,三次采油是一个开采阶段的划分而不是技术上的划分。这种基于开采方式的划分在实际应用中带来了一些混乱,为此,从技术上又提出了另一个定义,即除了传统的注水、注气(二次采油)技术以外的新技术都称为强化开采(Enhanced Oil Recovery,简称 EOR)技术,也就是三次采油技术。从驱油原理上分,三次采油技术主要包括气体混相驱、化学驱、热力驱油等,其中每一类技术又有多种方法,如化学驱技术包括表面活性剂驱、碱水驱和聚合物驱^[6],详细分类见表 1-1。最早的 EOR 技术是美国 20 世纪 20 年代发表的注碱水提高采收率专利^[7]。

表 1-1 三次采油技术的分类

驱油种类	具体方法	
气体混相驱	液化轻烃相驱采油	液化轻烃混相驱采油
		富气驱采油(混相或非混相)
		贫气驱采油
	CO ₂ 混相或非混相驱采油	
	氮气驱采油	
热力驱	蒸汽采油技术	蒸汽吞吐采油技术
		蒸汽驱采油技术
	油层就地燃烧技术	

续表

驱油种类	具体方法
化学驱	聚合物驱采油
	复合驱油(表面活性剂、聚合物、碱、气体驱采油等)
	碱驱采油
	微生物采油(也有人称其为四次采油)

三元复合驱提高采收率可达 20% OOIP(原油原始地质储量)左右,但该技术复杂、投资大、成本高,尚未成熟。矿场试验和推广应用表明,当前的聚合物驱提高采收率只有 12% OOIP 左右,但是聚合物驱技术的研究成熟度、矿场应用规模及应用效果等方面均强于三元驱在内的其他化学驱技术。聚合物驱是化学驱油中发展很快的方法,是降低含水量、提高油田采收率、保持石油产量稳定的关键措施。聚合物驱油可使含水量下降 10%,采收率提高 5%~14%,每吨聚合物可增产原油 150~180 t,具有巨大的社会效益和经济效益^[5]。

1.1 聚合物驱油剂在油田开发中的作用

世界各国为了满足国民经济发展对石油产量的需求,一方面加强勘探寻找新储量,一方面积极进行三次采油的探索与应用,努力提高现有油田的采收率。近年来,国内除河北冀东发现 10 亿 t 油田外,尚未发现大型油田和新的储量,而且一次和二次采油也不能提供充分的石油以满足日益增加的原油资源消耗的需要,原油生产的后备储量严重不足。运用聚合物驱油技术可在常规水驱开采之后使油藏采收率再提高 8%~20%。因此,在三次采油中,聚合物驱油作为一种经济高效的技术占有重要地位,备受重视^[8]。

在油藏、地层水等外界条件一定的情况下,聚合物驱的成败取决于所用聚合物驱油剂的优劣。聚合物驱油剂在油田开发中的作用可归结为“推、拉、拽”3 点^[9]。“推”是水驱的延续,通过聚合物驱油剂溶液产生的阻力起作用,而阻力主要是由溶液的黏度、调剖作用以及一定程度的黏滞阻力和黏

弹压力降造成的。聚合物驱利用聚合物驱油剂水溶液作为驱替液驱油,增加驱动液的黏度,并吸附滞留于孔隙,调节注水的流变性,调整吸水、产液剖面,有效地改善水的波及程度,降低地层水相渗透率,重新调整注入水在层与层之间的分配,使水与油能匀速地向前流动,提高水驱效果,保证动用程度差的中、低渗透层得以动用,实现稳油控水的目的。“拉”是提高驱油效率的动力,通过高分子链的构象变化起作用,展示了聚合物驱油剂的黏弹性。聚合物驱是一种比较有效的提高原油采收率的三次采油方法。当聚合物驱油剂溶液流经含油孔隙时,不仅有垂直于油水(聚合物驱油剂溶液)界面的推动力,也有垂直于流动方向(与油水界面平行)的法向应力,高分子链产生可回复形变,从而使驱油剂在孔隙中伸缩运动,克服小喉道产生的毛管阻力,进入所谓的不可入孔隙,形成稳定的“油丝”油流通道等,减少流动通道盲端的残余油,带出滞留在孔喉处和被水圈闭在微观孔隙中的油滴和油簇,达到高效驱油的目的。“拽”是聚合物驱油剂与原油亲和性的表达,通过高分子本身的结构特点起作用,而结构特点主要归结为亲油性的碳-碳长链和可能含有的少量疏水侧链。聚合物驱油剂的碳-碳键亲油主链和可能含有的疏水性侧基降低了聚合物驱油剂溶液与原油接触面的界面张力,使两者的亲和性强于油水的亲和性。同时,聚合物驱油剂溶液作为非牛顿流体,在毛细管管壁附近具有较高的速度梯度,导致其与油的界面速度大于油水的界面速度。强亲和与高速度的共同作用,使聚合物驱油剂溶液作用在残余油上的黏滞力大于水在其上的黏滞力,达到提高驱油效率的目的。

我国陆相沉积非均质性严重,渗透率变异系数一般都大于 0.5,这不利于水驱而有利于聚合物驱。东部油田地层原油黏度较高,一般在 $5 \sim 50 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 之间,这正是聚合物驱油的最佳黏度范围。我国河流相储层多为正韵律沉积,通过调整吸水剖面,聚合物驱可以采出水驱所采不出来的储层内的剩余油。但聚合物驱的应用仅局限于低温、低矿化度油藏。地层水的矿化度低(在 $3\,000 \sim 7\,000 \text{ mg/L}$ 之间),聚合物溶液遇到地层水时盐敏效应较小,不会使黏度大幅度下降,有利于聚合物驱油;地层温度不高(一般为 $45 \sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$),聚合物溶液在油层中不至于因温度过高而导致化学降解,因而

也可以降低注入水脱氧的要求。由于我国陆相储层的地质条件适合聚合物驱油,所以聚合物驱油技术发展较快,是提高老油田原油采收率的重要战略措施之一。聚合物驱的效果取决于聚合物驱油剂,因此,聚合物驱油剂在油田开发中具有举足轻重的地位。

1.2 聚合物驱油剂的发展历史与现状

从开发时间和结构性能上看,聚合物驱油剂大致可分为3代。第一代以本体黏度为核心,主要包括聚丙烯酰胺、水解聚丙烯酰胺和黄原胶;第二代兼顾本体黏度和产物性能,主要包括引入耐温、耐剪切、抗盐单体共聚合成的改性聚丙烯酰胺、接枝改性的天然聚合物;第三代以产物性能和结构黏度为中心,主要包括单分子链严重收缩的胶态分散凝胶、单分子链形成内盐的两性聚合物、引入较多疏水基增加亲油性的梳形聚合物与两性两亲聚合物、以双分子链间作用为主的聚电解质复合物与疏水缔合聚合物、以多分子链间微弱作用为主的交联聚合物。目前,国外的聚合物驱油剂主要由第二代和第三代组成,我国的聚合物驱油剂以第一代和第二代为主。

聚合物驱油剂作为聚合物驱油的核心,其质量的优劣与聚合物驱油技术的兴衰息息相关。聚合物驱油技术的应用程度决定了人们对聚合物驱油剂研究的热度,聚合物驱油剂的质量优劣又反过来影响聚合物驱油技术的推广。因此,了解聚合物驱油技术的来龙去脉,有助于把握聚合物驱油剂的发展历史与现状。

1.2.1 国外聚合物驱油技术的发展历史与现状

早在20世纪50年代初,国外就开展了胶束驱、碱驱和聚合物驱的室内研究和矿场试验工作。在各种化学驱方法中,聚合物驱是唯一一种经过一定规模的工业性试验而获得较好效果的提高采收率方法。美国于20世纪50年代末和60年代初就开始了聚合物驱的研究,并于1964年开始了矿场试验。1970年以后,前苏联的奥尔良油田和阿尔兰油田、加拿大的 Horsefly Lake 油田、法国的 Chatearenard 油田及英国、印度、德国、罗马尼亚和委内瑞拉等都相继开展了聚合物驱矿场试验^[10~13],将聚合物驱推向高潮。期

间,美国共进行了现场试验 183 次,平均提高采收率仅为 4.9%。1986 年以后,由于原油价格的暴跌及对原油价格的悲观预测,造成人们在 EOR 技术方面兴趣低落,有些主要石油公司甚至取消了在 EOR 研究方面的尝试,将其人员转向其他领域。此后,国外聚合物驱矿场试验规模减小,项目逐年减少,但室内研究却一直没有停止。1988 年以后的 10 年间,聚合物驱项目数和增油量都呈下降趋势。据许多资料报道,国外认为聚合物驱只能扩大波及体积,不能提高驱油效率,采收率增值有限,一般否定采用聚合物驱油技术。这种观点在 1995 年的欧洲 EOR 会议上有所动摇。F. E. DeBons 等人^[14]对 1975—1992 年间国际上 12 个先导性和扩大性聚合物驱试验进行了分析,认为此前聚合物驱提高采收率低的主要原因是过分地追求聚合物的利用效率,聚合物的使用量过低。

由于聚合物驱油提高原油采收率的机理较清楚、工艺较成熟,因而在各国聚合物驱占化学驱的 95% 左右。1996 年美国开展的化学驱项目全部是聚合物驱。在一些国家最近的 30 个聚合物驱现场实施项目中,绝大多数应用在深度小于 1 500 m 的地层中,只有美国怀俄明州 Campbell 地区的 Table Mountain 油田由 Presidio 公司于 1991 年 8 月实施的聚合物驱井深达 2 926 m。在美国,聚合物驱项目自 1986 年以来一直呈下降趋势,表面活性剂驱更是几乎停止。1996 年,除中国外,全世界正在生产的聚合物驱油田只有 9 个,年增油量仅为 8.79 万 t。截至 2000 年,全世界已有 200 多个油田或区块进行了聚合物驱油试验^[15]。

进入 21 世纪以来,随着世界经济的发展,石油这一不可再生资源的需求不断增加,价格也一路攀升,石油资源已成为一种重要的战略性资源,是国际政治、经济、军事和外交斗争的特殊武器。石油安全问题不仅关系到一个国家的经济发展、社会稳定,而且会对世界的经济格局产生影响^[16]。近年来,由于聚合物驱技术的进步,国外重新考虑聚合物驱的应用,聚合物驱有望再次成为经济可行的提高采收率项目。

近几年,国外提出了一种低成本的微生物-三元复合驱技术。这项技术所用的微生物能利用原油产生酸性物质,与碱混合物在油水界面上中和,应

用于三元复合驱无效的油田效果显著。岩心驱油试验表明,微生物驱和三元复合驱具有良好的协同作用。目前,美国已很少单独采用第一代和第二代聚合物驱油剂,而在应用第三代驱油剂中的胶态分散凝胶方面有较大发展,进行的矿场试验已获得良好的效果。胶态分散凝胶技术在一定条件下可以单独使用或与其他聚合物驱油剂结合使用,使采收率更高。胶态分散凝胶(CDG)结合了常规聚合物驱油和调剖堵水的特点,而且进行的多数矿场试验均获得了成功,因此受到普遍关注。

美国能源部对 EOR 的基础研究十分重视,以流体深部转向技术为工作重点,在表面活性剂-聚合物的相互作用、吸附损失等界面化学问题的理论研究基础上加强了在分子物理、高分子化学、流变学等学科上的研究,在化学剂合成领域开发了多种耐温、抗盐聚合物,在表面活性剂合成方面向高效、廉价、耐温、抗盐方向发展,通过识别诊断和图像系统研究了油藏岩石的性质和岩石、流体相互作用对采油过程的影响以及新认识在 EOR 上的应用。

1.2.2 国内聚合物驱油技术的发展历史与现状

我国的聚合物驱起步较早,早在 1962 年就开始室内研究,并先后在新疆、大庆进行了先导性试验,取得了明显的效果。“七五”(1986—1990)、“八五”(1991—1995)期间,三次采油技术连续被列为国家重点科技攻关项目,遵循“立足国情,着眼三次采油转化为生产力,加速实现工业化应用步伐”的指导思想,根据我国探明气源不足、油田混相压力较高、不具备广泛混相驱条件的实际情况,确定化学驱为我国三次采油的主攻技术,并首先将机理清楚、技术较简单、成本较低的聚合物驱作为重点。经过多年的连续攻关,我国聚合物驱进行工业化矿场应用在技术上已经相当成熟。

聚合物驱油技术作为三次采油的一项成熟技术,在我国各大油田得到了推广应用。聚合物驱油技术的推广应用对提高原油采收率、稳定老油田原油产量起到了重要作用。聚合物驱作为我国化学驱的主要方法,其规模及年增油量已居世界前列,许多研究成果为世界领先水平。1997 年,我国聚合物驱产油量居世界首位;1998 年,我国聚合物驱项目有 16 个,而同期

美国只有 10 个;2000 年,仅大庆油田,聚合物驱产油量就已达 8×10^6 t;2001 年,大庆油田的聚合物驱产油量达 10^7 t;目前,我国聚合物驱平均采收率达到 10%(大庆油田的研究认为经济下限为 6%~7%)。我国已先后在大庆、胜利、河南、大港、新疆等 6 个油田 11 个油区的 26 个区块开展了聚合物驱,共计覆盖含油面积 110.7 km^2 ,动用地质储量 2.46×10^8 t,共有油井 1 204 口,平均单井日产油 16 t,比全国同期平均单井日产油提高 10.3 t。从现场试验的结果来看,它的应用效果也较好。大庆、胜利是化学驱的主战场,其动用储量分别占 61.5%和 25.9%。有关资料表明,我国适合采用聚合物驱提高采收率的地质储量有 4.316×10^8 t,按平均提高采收率 8.6%计,能增加可采储量达 318×10^8 t,需要聚合物 2.124×10^8 t。

“十五”以来,国内开展聚合物驱的主要油田系统地总结了经验和教训,分析了聚合物驱的效果及其影响因素,提出了改善聚合物驱效果的措施方法,进一步完善了聚合物驱的配套工艺技术,为提高聚合物驱效果提供了有力保障。聚合物驱油的关键技术是制备性能优良、价格低廉的水溶性聚合物,且要求聚合物具有较强的增黏能力,能在恶劣的油田环境(如高温、高剪切、高矿化度)下保持较高的黏度。随着三次采油技术的发展,聚合物研究不断创新,涌现了多种与普通聚丙烯酰胺分子结构不同的新型聚合物。这些新型聚合物各具特色,提高了聚合物驱油剂在油田开发中的适用性^[17]。开发适合油田污水配制的三次采油用新型聚合物是世界油田化学界的研究热点,研制方向主要有两性离子共聚物、耐温耐盐单体共聚物、疏水缔合聚合物、多元组合型共聚物、共混型聚合物和梳型聚合物 6 个方面^[18]。

其他驱油技术显示出良好的应用前景,动摇了聚合物驱的地位。复合驱基础研究在驱油原理、数值模拟等方面取得了重大突破,有些成果已达到国际先进水平。继胜利孤东小井距复合驱试验之后,大庆、胜利、辽河和克拉玛依也先后成功地进行了多个复合驱先导和扩大试验。在先导试验的基础上,大庆又在杏二区中部开展了三元复合驱工业性试验。大量实验研究和现场试验工作的开展推动了我国复合驱技术的发展。目前,我国已初步形成了复合驱配套工艺技术,主要包括复合驱配方体系优化设计、复合驱方