

大庆油田开发论文集之三

提高采收率 方法研究

张景存 主编



石油工业出版社

070150

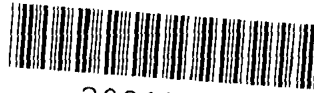
TE 357
011



大庆油田开发论文集之三

提高采收率方法研究

张景存 主编



200421588



石油工业出版社

(京) 新登字082号

内 容 提 要

本书是大庆油田开发论文集之三, 主要围绕提高油层波及效率和驱油效率这两个方面来介绍提高采收率的试验研究成果以及所取得的结论。本书由41篇论文组成, 分为聚合物驱、活性剂驱、细菌采油、气驱等五个部分。

本书可供从事提高油田采收率的研究人员和有关院校师生参考。

大庆油田开发论文集之三 提高采收率方法研究

张 景 存 主 编

*

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
北京市朝阳区同兴印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 21 1/4印张 532千字 印 1—2000

1991年12月北京第1版 1991年12月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0499-2/TE·478

定价: 5.55 元

11 4.1 2.5 1.000

出版说明

为纪念大庆石油会战，特将大庆油田80年代以来油田开采方面科研方法和科研成果的90篇优秀论文汇编成《大庆油田开发论文集》一书。依其内容分为三册，第一册《油藏工程方法的研究》，包括24篇，着重介绍油田开发分析、开发规划的制定和开发调整等内容；第二册《油层物理方法研究》，包括25篇，主要是开发过程中储层、油、气性质及变化的实验室研究；第三册《提高采收率方法研究》，包括41篇，主要论述提高波及效率和驱油效率，从而提高采收率的试验研究成果。

本论文集基本反映了近年来大庆油田开发方面的科学研究水平。为满足广大油田开发科技人员的需要，今后还将陆续出版有关该领域的优秀科研成果。

前 言

半个世纪以来，三次采油技术一直是国内外石油工作者十分关注的课题。目前已形成了三大系列技术，即化学驱、气驱和热力驱。化学驱包括聚合物驱、表面活性剂/聚合物驱、碱水驱及由它们组合起来的复合驱；气驱包括混相与非混相注干气、湿气、CO₂气、氮气、烟道气等；热力驱包括蒸气驱、蒸气吞吐、热水驱和层内燃烧。此外，还探索微生物采油以及利用声、电、磁等提高采收率的新方法。

研究工作的关键是如何针对油田具体特点正确的运用这些方法。

大庆油田勘探和开发30年来，随着油田注水开发过程中各种矛盾的不断暴露和各项科学研究及科学试验的深入开展，加深了对油田的认识。因而对大庆油田提高采收率的主攻方向和主攻方法也愈来愈明确。特别是贯彻执行改革开放政策以来，引进了国外的先进技术和仪器设备，加强了与国外的技术交流和技木合作，进一步培养了技术人员，大大地提高了试验研究工作的水平。目前，在聚合物驱、表面活性剂驱和二氧化碳驱的采油技术方面，从室内实验、数值模拟、到矿场试验方案设计和实施，已基本上形成了配套的研究能力。“七五”期间，同时开展了聚合物驱、表面活性剂驱、CO₂非混相驱、注天然气等7项矿场试验，都不同程度地取得了一定成果，为确定适合大庆油田提高采收率方法提供了重要依据。

本论文集收集了41篇研究论文，分为聚合物驱、表面活性剂驱、微生物驱、气驱等5个部分，每篇文章既有独立性，又相互关联，都是围绕提高采收率这个中心来阐明试验研究的成果以及所取得的初步结论，可以说它是大庆油田30年来提高油田采收率试验研究工作的缩影，为提高大庆油田采收率提供了依据。同时，论文集中不少文章所介绍的研究方法和成果，又带有普遍性，因此，也可作为其他油田提高采收率试验研究工作的借鉴。

在本论文集的出版过程中，林玉君、颜五和、李瑞龙、刘青年、高树棠、张娜以及沈正翔、梁爱萍、张维丰、何海明等同志分别参加了编选工作，在此对他们表示谢意。

张景存

1990年3月

目 录

大庆油田矿场聚合物驱油效果评价及有利条件分析·····	王志武 张景存 姜言里	(1)
聚合物驱数值模拟参数测定方法研究·····	庞宗威 程杰成 高秀兰 石 梅	(10)
纵向非均质厚油层聚合物驱油影响因素数值模拟研究·····	戚连庆	(19)
聚丙烯酰胺溶液在大庆油藏条件下的稳定性研究·····	韩 冬 庞宗威 张 达	(30)
大庆油田小井距特高含水期注聚合物提高采收率矿场试验·····	张景存 郝悦兴	(36)
胶束溶液同油水混相过程特点及其对驱油效率的影响·····	姜言里 吕 广 刘青年	(44)
低界面张力的产生和大庆原油等效烷烃碳数 (EACN) 的测定·····	高树棠 苗希仁	(52)
低界面张力石油磺酸盐体系的实验研究·····	高树棠 梁桂卿 陈惠琴 吕凤林	(58)
石油磺酸盐的组分含量平均当量及当量分布的分析方法·····	梁桂卿 姜言里 宋长余	(66)
大庆原油微乳液在岩心上的驱油效率 ·····	张景存 高树棠 雷 毅 梁桂卿 李华斌 金 静	(71)
大庆原油微乳液异常相态的实验研究·····	苗希仁 高树棠	(81)
助剂和电解质对低界面张力性质的影响·····	陈惠琴 高树棠 梁桂卿	(89)
应用微悬滴法测定低界面张力·····	高树棠 张启桓	(97)
关于烯基磺酸盐的研究·····	刘万河 石 梅	(106)
合成低界面张力烷基 (C ₉₋₁₅ 、C ₁₅₋₁₈) 二甲苯磺酸盐的实验研究 ·····	王昭煜 孙晓云 王印堂 姜言里 宋长余	(111)
√在微观薄层砂岩模型上驱油机理的直观研究·····	张景存 高树棠 梁桂卿	(118)
√毛管数对天然岩心渗流特征的影响·····	吕 平	(123)
√毛管数与残余油饱和度关系的预测·····	姜言里	(129)
中相微乳液组成模拟方法·····	姜言里	(133)
表面活性剂驱数值模拟参数测定方法 ·····	陈惠琴 姜言里 吴军政 张璐光 姜祥成	(142)
活性水驱油数值模拟中的参数处理·····	姜言里	(156)
活性水驱油的数值模拟研究·····	崔龙命	(167)
物理化学渗流方程·····	孙长明 崔龙命	(176)
胶束驱油机理及增产增注研究·····	姜言里 吕 广	(187)
小井距北井组萨 I ₄₊₅ 层胶束-聚合物驱油现场试验·····	孟繁儒 周正祥 李国淑	(197)
二氧化碳与大庆原油的混相压力研究·····	张菊香 刘庆森 张 宽	(210)
大庆油田应用二氧化碳非混相驱油的可行性和技术界限研究·····	谢尚贤 颜五和	(214)
√注气提高扫油厚度系数的数值模拟研究·····	张景存 王启民 桓冠仁 陈素珍	(222)
√正韵律厚油层注气效果的数值模拟研究·····	冯宝俊 芦文生	(237)
注二氧化碳水提高采收率矿场试验·····	廖炎光 陈永生	(245)
注二氧化碳轻质油段塞提高采收率矿场试验·····	颜五和 张景存	(248)

正韵律油层注水开发后期注空气矿场试验·····	张景存 张富学 李国树(253)
用混合发酵法制取生物聚合物多糖的研究·····	王传柱 刘亚超(260)
微生物由原油生产多糖及其在二次采油中可用性的探讨·····	王修桓 王传柱(271)
细菌在高压模型中的生长状况及堵塞效果·····	张春英 尹立珍 孙 臣 孙亚芹(279)
注水油层微生物生长特点的研究·····	张春英 孙 臣 孙亚芹(287)
用微生物的方法判断检查井水淹层的研究·····	陈异谱 张春英 王传柱 孙 臣(295)
注悬浮液扩大水淹体积的研究·····	陈异谱 谢尚贤(305)
注悬浮液扩大水淹体积的效果和评价·····	王 逊(316)
泡沫及泡沫驱油室内实验研究·····	贾忠盛(323)
泡沫对增强二氧化碳驱的显著作用·····	谢尚贤 颜五和 韩培慧(327)

大庆油田矿场聚合物驱油效果评价 及有利条件分析

王志武 张景存 姜言里

摘要 本文在介绍大庆油田正韵律油层聚合物驱油小型矿物试验取得油井含水大幅度下降、产油量明显上升,采收率提高5%的基础上,论述了油层温度不高,油层水及注入水矿化度和高价离子含量低,油层注水开发后仍有较高的剩余油饱和度等聚合物驱油的有利条件,为在大庆油田广泛采用聚合物驱油提供了理论和实践依据。

一、引言

大庆油田储油层为大型内陆湖盆河流三角洲-湖相沉积的非均质多油层砂岩油田。油层埋藏深度1000m左右,油层温度约45℃,原油地下粘度9mPa·s左右,地层水矿化度约为7000mg/L。

油田不同地区由于沉积条件的差异和变化,油层类型和非均质特点及其组合关系也各不相同,因而注水开发效果也各不相同。预测结果表明,油田北部地区水驱采收率为36.3~41.5%。油田南部地区为14.5~45.3%,全油田平均为40%左右。可见,在水驱开发以后,将有60%的原油残存在地下。特别是主要集中在油田北部的正韵律油层,其水驱开发效果更差,而这类油层的储量却在油田上占有相当大的比例,可见大庆油田三次采油的潜力是很大的。

目前,大庆油田已进入高含水开发阶段,全油田综合含水已达77.83%,因此,迅速发展三次采油技术,对进一步延长油田稳产期及提高采收率具有十分重要的意义。

大庆油田由于是陆相沉积的油藏,又加上埋藏深度只有1000m左右,因而各类油层的渗透率变异系数在0.5~0.9之间;油层温度45℃左右,原始地层水矿化度只有7000mg/L左右;而一些海相沉积的油田,渗透率变异系数小,矿化度高,原油粘度低,水驱开发效果也优于陆相沉积的油田,提高采收率的余地相对要小。因而大庆油田采用聚合物驱油具有天然的优越条件,并且已在矿场试验中取得了满意的效果。本文在简要介绍矿场试验效果的基础上,着重论述了大庆油田采用聚合物驱油的有利条件。

二、矿场试验效果评价

大庆油田聚合物驱油矿场试验是在小井距试验区南井组的萨Ⅱ₇₊₈层进行的。试验层属于正韵律油层,井组平均厚度5.2m,平均有效渗透率0.631μm²。油层内部非均质性严重,上部为低渗透率的砂泥薄互层,下部为高渗透率的砂岩。

试验区井位如图1所示。注聚合物之前先进行水驱开发试验。注水井为502、504、506井,采油井为501井,其余3口井为平衡井,油、水井井距为75m。水驱试验结束时,井组综

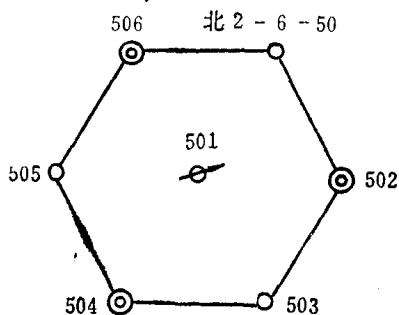


图 1 小井距501组井位示意图

合物为含量8%的部分水解聚丙烯酰胺胶体，使用量49.6t。依次以4种不同浓度的段塞注入（表1）。

表1 聚合物注入指标

注入段塞次序	1	2	3	4
注入时间(d)	7	4	12	3
粘度(mPa·s)	10	5	4~7	28
体 积(m³)	947	654	1720	316
浓 度(%)	0.12	0.08	0.096	0.12~0.14

为防止聚合物降解，溶液中加入0.06%浓度的甲醛。注入期间，为排除试验区外的干扰，保持试验区的压力略高于周围地区的地层压力。

试验结果如图2所示。从聚合物注入后的第12天开始，3口油井相继见效，903井含水由99%下降至最低时为88%，日产油量由0.3t增加至最高时5t；505井含水由99%下降至最低时为60.4%，日产油量由0.3t增加至最高时为5.2t；北2-6-50井含水由94.5%下降至最低时为77.7%，日产油量由2.5t，增加至最高时为8.5t。在所有这3口油井中，除了505井有效期只有39d外，其余503和北2-6-50井的有效期分别持续了215d和222d。有效期间井组共采油1077.9t，属注聚合物增采的油量为608.8t，相当于注入1t纯聚合物增采原油153.4t，井组采收率较水驱提高地质储量的5.1%。

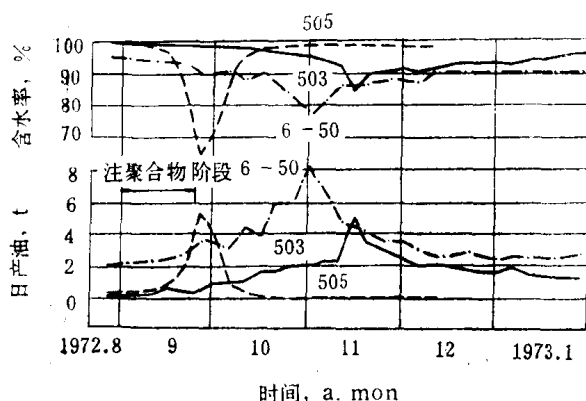


图 2 501井组萨Ⅱ₇₊₈层注聚合物试验效果

这一试验结果表明，对于大庆油田正韵律油层，即使在含水98%的情况下，注入聚合物

合含水已接近98%。水驱试验结束后，关掉原来3口注水井，将中心501井改为注入井，与503、505、北2-6-50井3口采油井构成反四点的聚合物驱油试验井网。再次进行注水开发，使油井含水恢复并稳定在97.5%的水平上。

注聚合物前井组平均含水97.5%，此时开始注入聚合物溶液，共注入聚合物溶液3637.8m³，相当于油层孔隙体积的16.3%。

图3给出了注入井同位素测试显示出的注聚合物前、后吸水剖面的变化，可以看出，吸水厚度由原来的2.4m增加到3.8m，微吸水厚度由原来的1.0m增加到1.5m。

另外，注聚合物后，油井采出液中氯离子含量普遍升高，503井由66mg/L上升到116mg/L，505井由85mg/L上升到158mg/L，北2-6-50井由108mg/L上升到191.8mg/L，氯离子含量的明显上升，证实了注聚合物扩大了油层的波及体积，增加了新的采油部位。

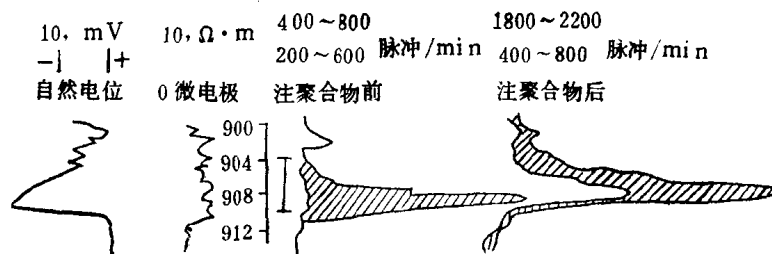


图 3 501吸水剖面变化图

溶液同样会获得满意的效果。

为进一步揭示注聚合物的驱油机理，进行了数值模拟研究。使用的是长75m、宽1m、厚7m的剖面二维模型，自上而下的分层渗透率是0.05、0.125、0.250、0.400、0.550、0.700和1.000 μm^2 。孔隙度30%，原始含水饱和度16.3%。

首先向油层注入清水2PV，含水率达96.5%，采出程度40.5%。然后注入聚合物溶液0.25PV，再注水。聚合物注入浓度2500mg/L。

图4是注完聚合物段塞时距油层注入端三分之一距离剖面上分层渗透率下降曲线，可以看出，聚合物段塞主要是进入了底部高渗透率层段，因而其渗透率显著下降，而顶部三个低渗透率层段几乎没有变化。

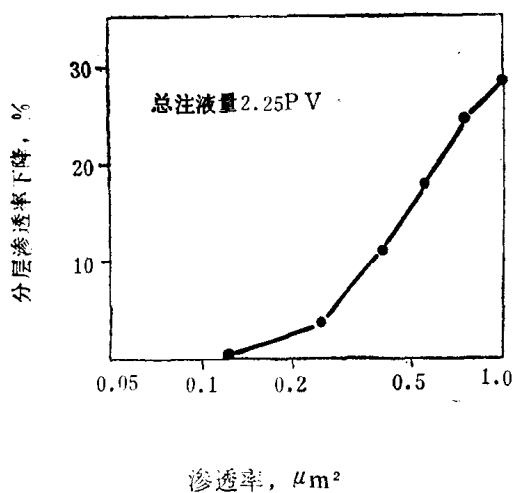


图 4 距注入端1/3距离剖面上分层渗透率下降百分数

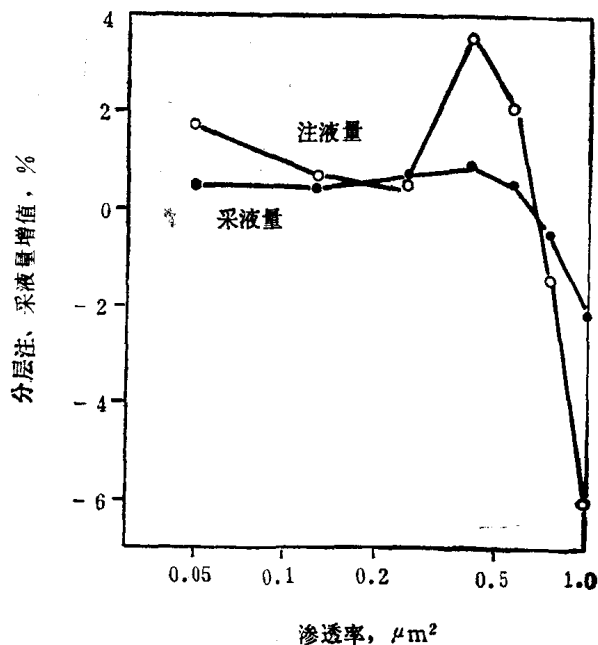


图 5 总注液量2.25PV时，注聚合物与注清水相比，分层注采液量的增值

由于底部高渗透率油层水的流动阻力增加，必然导致各分层间相对注液与采液量关系的变化。图5给出了总注液量为2.25PV时，注聚合物段塞与不注聚合物段塞两种情况下，注

聚合物段塞时较不注聚合物段塞时各分层注、采液量占各层总注、采液量百分数的绝对增值。不难看出,由于聚合物段塞的注入,引起底部两个高渗透率分层的注、采液量明显的减少,而其余分层的注、采液量则都有不同程度的增加,尤其处于中间部位的 $0.400\mu\text{m}^2$ 的层段增加的最显著。

上述资料充分揭示了注聚合物调剖作用,在这种调剖作用下,改善了含油饱和度较高的上部低渗透层段的动用情况,因而提高了采收率。

三、大庆油田采用聚合物驱油的有利条件

1. 油层温度有利于聚合物保持稳定

聚合物在油层中的进一步水解,氧化降解及微生物降解是影响聚合物稳定的主要因素。室内实验结果表明,在大庆油层温度(45°C)条件下,聚合物进一步水解和热氧降解甚微,只有微生物降粘作用明显,但可用加入杀菌剂的方法消除。

实验方法是将用模拟地层水配制的英国联合胶体公司1135L聚合物溶液移入安瓶中在不同条件下密封、恒温、定期抽样测粘,观察其粘度随时间的变化。

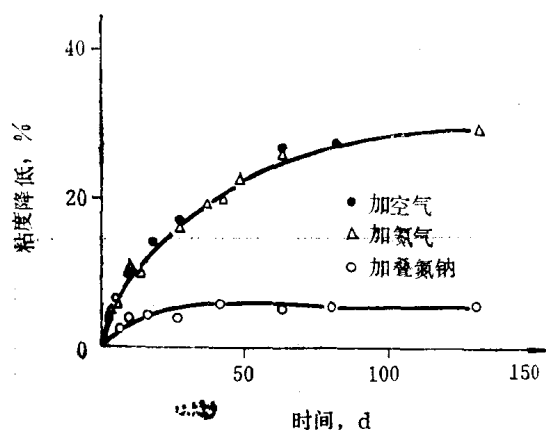


图6 不同条件下密封恒温的1135L溶液粘度随时间的变化

实验结果表明,溶液在接触氧与无氧条件下,经恒温后的降解程度相同,而加了杀菌剂叠氮钠的样品却有效地抑制了聚合物的降解(图6)。由此可见引起聚合物粘度下降的主要原因是微生物降解。

另外还进行了一组聚合物降解程度与溶解氧及杀菌剂含量的相关性试验(图7和图8)。

结果表明,聚合物的降解程度与溶解氧含量无关,而对杀菌剂的含量却很敏感。这一结果再次表明,在大庆油层温度下,聚合物的降解主要是微生物作用引起的。

2. 注入水性质有利于聚合物增粘

聚合物水溶液的粘度是聚合物粘度及水中矿化度的函数,可按如下经验式描述:

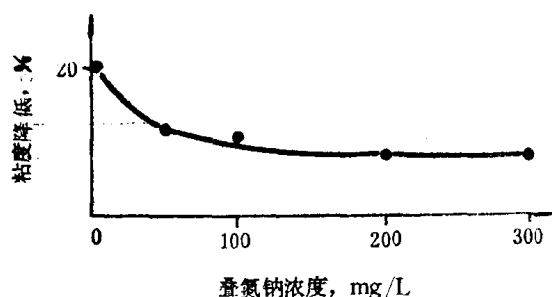


图7 溶解氧对HPAM稳定性的影响(恒温90d)

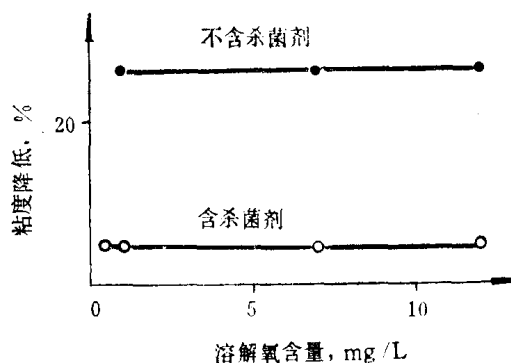


图8 杀菌剂浓度对HPAM稳定性的影响(恒温60d)

$$\mu_p = \mu_w [1 + (aC_p + bC_p^2 + cC_p^3) (C_M^+ + eC_M^{++})^d]$$

其中 μ_p ——聚合物溶液粘度, mPa·s;

μ_w ——水粘度, mPa·s;

C_p ——聚合物浓度, mg/L;

C_M^+ ——单价离子浓度, mmol/L;

C_M^{++} ——二价离子浓度, mmol/L;

a, b, c, d, e ——常数。

为了估价聚合物在大庆注入水中的增粘效果, 使用英国联合胶体公司产品1135L作了试验。方法是在 $3.67s^{-1}$ 剪切率条件下, 测量不同浓度聚合物溶液粘度随矿化度的变化, 结果如表2及图9。

表2 不同浓度1135L溶液粘度 (mPa·s)

C_p (mg/L)	C_M^+ (mmol/L)	8.5	17.1	34.2	85.5	170.9	备 注
800		31	18	10	8	3	曲线1 $C_M^{++}=0$
1200		66	38	20	10	6	曲线2 $C_M^{++}=0$
1600		112	69	35	16	10	曲线3 $C_M^{++}=0$
2000		175	108	52	25	14	曲线4 $C_M^{++}=0$
1200		/	24	16	9	/	曲线5 $C_M^{++}=1.5$

表3 大庆水源水及含油污水水质

水 源 名 称	矿化度 (mg/L)	阳 离 子 含 量				为获得10mPa·s粘度所需 聚合物的浓度(mg/L)
		K ⁺⁺ Na ⁺		Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺		
		mg/L	mmol/L ^①	mg/L	mmol/L ^②	
喇嘛甸水源	1174.5	342	15	144	7.2	1240
红卫水源	1308	263	11	106	5.3	1080
北二水源	560	157	6.8	74	3.7	900
北三水源	377	121	5.3	1.8	0.09	<400
杏树岗水源	734	155	6.7	45	2.3	700
南二水源	943	263	11.4	16	0.8	600
西 水 源	1071	214	9.3	86	4.3	970
东 水 源	374	118	5.1	1.6	0.08	<400
北 水 源	383	120	5.2	1.2	0.06	<400
南 水 源	717	148	6.4	45	2.3	720
南九水源	525	146	6.3	9.4	4.7	400
杏六水源	491	146	6.3	4.7	0.24	<400
东二水源	701	196	8.5	17	0.85	540
含油污水	2500	772	33.6	5.4	0.27	800

①以 Na^{+} 的当量计算; ②以 Ca^{++} 的当量计算。

根据表2及图9结果可以定出:

$$a=0.18; b=1.7 \times 10^{-4}; c=9.2 \times 10^{-8}; d=-0.86; e=9.2$$

上述结果表明,矿化度的增加引起聚合物溶液粘度的明显降低,特别是二价离子的影响大约相当于9倍的单价离子。

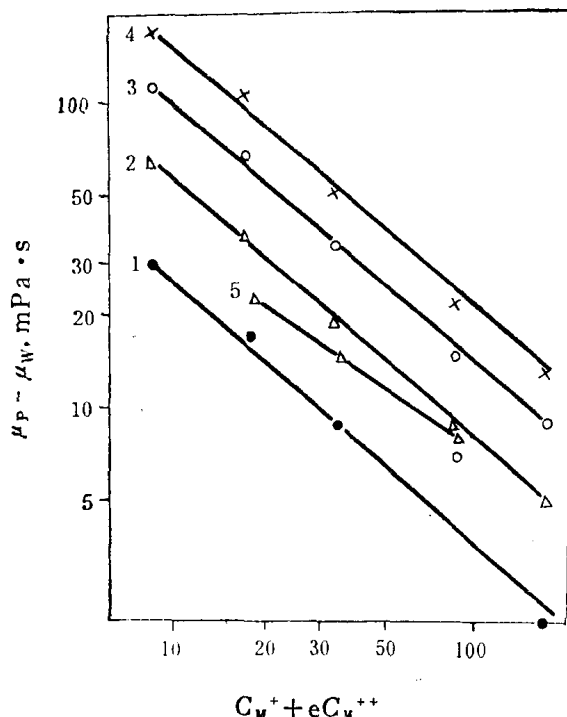


图9 1135L ($\mu_p - \mu_w$) 与 ($C_M + eC_M + t$) 关系曲线

水外,其余9个水源水所需聚合物浓度仅有400~700mg/L。即使是用含油污水配制,也只需要800mg/L。

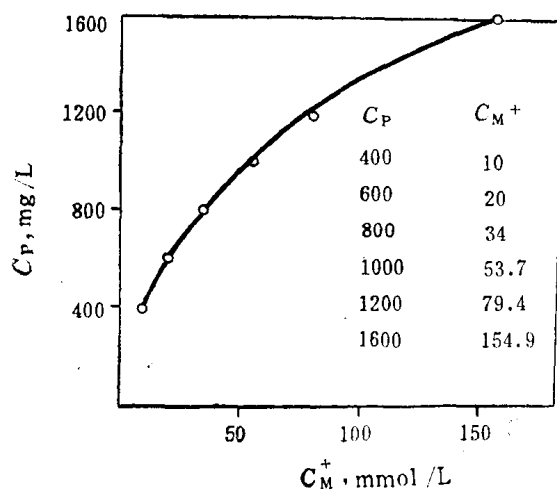


图10 粘度为10mPa·s时不同矿化度条件下所需聚合物的浓度

大庆油田为陆相沉积油田,地层水矿化度只有7000mg/L,对聚合物驱油是十分有利的。只要注入水水质适合,就可以使聚合物溶液在浓度不高的情况下获得足够的粘度。

表3给出了大庆油田各水源水及含油污水的水质分析结果。在大庆油田的13个水源中除喇嘛甸水源、红卫水源、北二水源和西水源4个水源水二价离子含量稍高外,其余单、二价离子含量都很低。

图10给出了按公式预测的用不同矿化度的水配制粘度为10mPa·s的聚合物溶液时所需的聚合物浓度。据此曲线测算了大庆各水源水配制的聚合物溶液浓度(表3)。结果表明:除了上述4个二价离子含量较高的水源

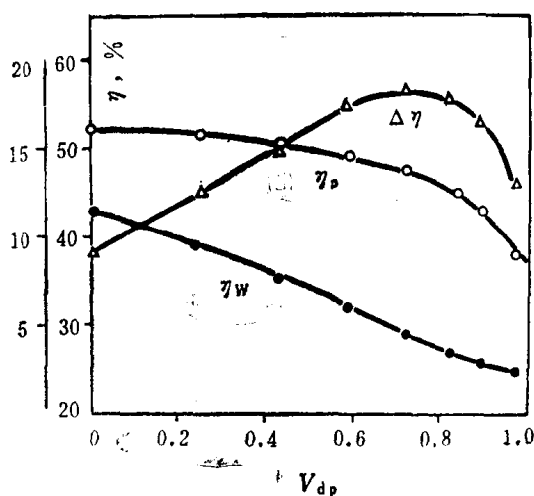


图11 聚合物与水驱采收率及采收率增值非均质系数的变化

3. 大庆油田的非均质特点适合聚合物驱油扩大波及体积作用的发挥

油层非均质特征是影响聚合物驱油效果的又一重要因素。为了搞清油层特征对水驱及聚合物驱油效果的影响,我们应用化学驱油模型进行了模拟计算研究。

计算中所用地质模型为5点井网的四分之一单元,油水井间距200m。平面设计为均质油层,纵向上为3个不同渗透率的层段,层段厚度2m,其渗透率自上而下分别为 K_1 、 K_2 、 K_3 ,并按需要给出 $K_1 \leq K_2 \leq K_3$ 。按表4给出的渗透率组合关系,研究了渗透率变异系数 V_{dp} 与采收率的关系。

表4 不同 V_{dp} 时的K值

V_{dp}	0	0.248	0.433	0.590	0.720	0.820	0.890	0.968
$K(\mu m^2)$								
K_1	0.444	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099
K_2	0.444	0.123	0.158	0.207	0.296	0.494	0.740	1.974
K_3	0.444	0.197	0.316	0.518	0.888	1.4909	2.221	5.922

单井注液速度是 $0.048PV/a$ ，保持注采平衡。注入过程是先注水 $1.1PV$ ，含水达95%，再注浓度为 $800mg/L$ 的聚合物溶液 $0.3PV$ ，最后注水至含水95%结束。获得的结果如图11。

由图11看到，无论水驱还是随后的聚合物驱，采收率都随 V_{dp} 的增加而降低，但在 $V_{dp} < 0.7$ 之前，聚合物驱较水驱采收率下降速度缓慢，因而，随 V_{dp} 增加聚合物较水驱采收率的增值增加。 V_{dp} 超过0.7后，水驱采收率下降速度变缓，而聚合物驱采收率下降速度加快，因而导致聚合物较水驱采收率的增值在 $V_{dp}=0.7$ 处出现峰值。由聚合物较水驱采收率增值曲线可以得出，对聚合物驱提高采收率的有利 V_{dp} 数值范围是 $0.6 \sim 0.9$ ，而以 0.7 左右为最好。

据统计，大庆油田各类油层的 V_{dp} 值均在 $0.5 \sim 0.9$ 的范围内，这是大庆应用聚合物驱油的又一有利条件。由图11的结果看到，对于这类油层，在含水95%以前，其水驱采收率不超过35%，因而水驱之后油层中仍有较多的剩余油可被进一步开采。计算结果表明，在任何 V_{dp} 值时，无论水驱还是聚合物驱，底部 K_3 层的波及效率均可达至100%。但是，如图12所示，当 V_{dp} 超过0.5时，在水驱条件下对于中间 K_2 层的波及效率急剧下降，而对于顶部 K_1 层的波及效率则很小，不超过30%。向这类油层注入聚合物时，主要是增采了未被水驱波及到的这部分剩余油。由图12看到，当注入聚合物时，对中间 K_2 层的波及效率均增加到100%。而对于顶部 K_1 层的波及效率，在 $V_{dp} < 0.7$ 之前，也均增加到100%； $V_{dp} > 0.7$ 后，波及效率随 V_{dp} 增加而迅速降低，因而 $V_{dp}=0.7$ 时获得的采收率增值最高。

四、大庆油田注聚合物可以大幅度提高采收率， 获得较好的经济效益

为指导好今后的矿场实践，在大庆油田条件下，我们使用 $V_{dp}=0.89$ 的地质模型，只改变注入浓度与注入量，研究了聚合物注入量与开采效果的关系，以便合理选择获得最大技术-经济效益的聚合物用量。

获得的结果如图13。其中 $\Delta\eta-mg/L \cdot PV$ 关系曲线是聚合物较水驱相比，采收率提高值随聚合物用量的变化，反映了聚合物的技术指标。 $\frac{\Delta W_o}{W_p}$ 与 $mg/L \cdot PV$ 关系曲线是折算成注

入 $1t$ 聚合物所能增采原油数量与聚合物用量的关系，反映了聚合物驱油的经济指标。 $\frac{\Delta W_o}{W_p}$

• $\Delta\eta$ 与 $mg/L \cdot PV$ 关系曲线是上述两项指标乘积与聚合物用量的关系，它在一定程度上反映了聚合物的综合技术-经济指标。

由图13看到，在 $mg/L \cdot PV < 200$ 时，聚合物驱油较水驱油提高采收率的大小随聚合物

用量单调上升, 大约每注1t聚合物可增产原油200t。可见, 为获得最大经济效益, 聚合物用量应选为200mg/L·PV。但此时获得的采收率值并不高, 只有11.5%。为获得最大的综合技术-经济指标, 聚合物用量应提高到350mg/L·PV左右 (参看 $\frac{\Delta W_o}{W_p} : \Delta \eta$ -mg/L·PV 曲线), 这时可比水驱油提高采收率17%左右, 相当注1t聚合物增采原油185t。

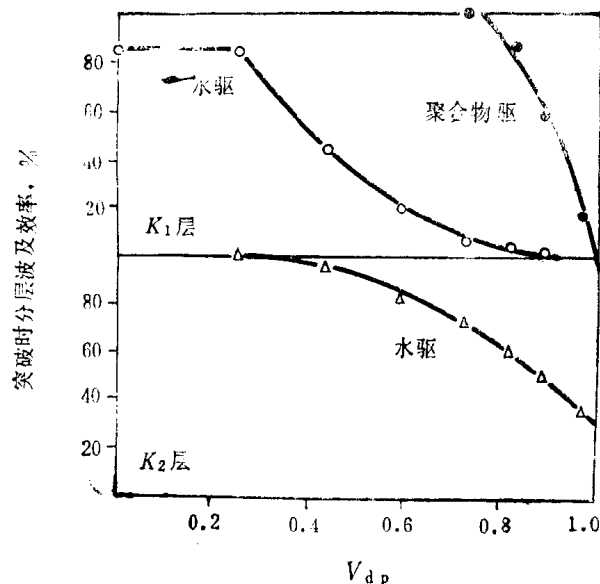


图 12 突破时分层波及效率与 V_{dp} 关系

五、结 论

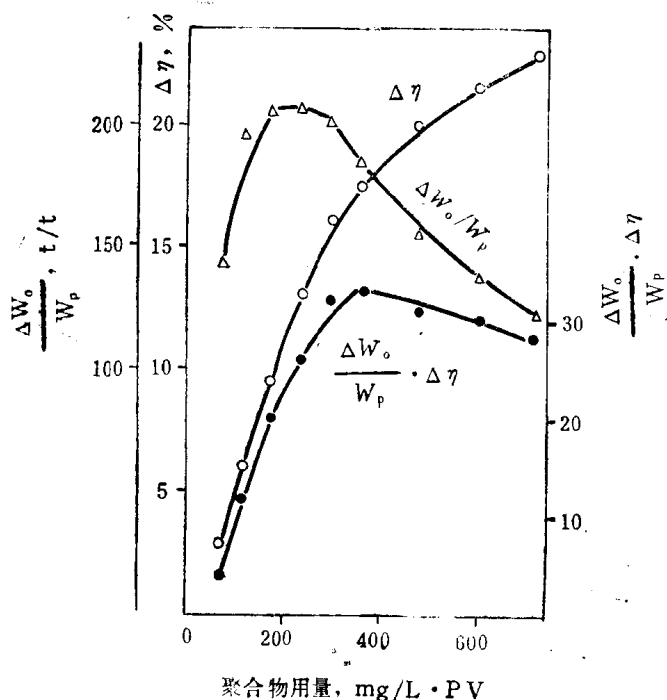


图 13 聚合物用量选择综合曲线

1) 大庆油田十分适合聚合物驱油。大庆油田小型矿场试验的聚合物平均用量为163mg/L·PV, 较水驱采收率提高5.1%, 相当于1t聚合物增采原油153.4t。但小型矿场试验中聚合物的用量不够大, 因此采收率也不够高。若根据数值模拟的结果将聚合物用量增加到350mg/L·PV时, 则采收率增值还可提高。这与过去一般认为聚合物驱油不能大幅度提高采收率的概念是截然不同的。

2) 在大庆油层温度条件下, 聚合物不会发生进一步水解或热氧降解, 但微生物会使聚合物降粘, 为确保聚合物在油层中的稳定, 应加入杀菌剂。

3) 大庆油田地层水矿化度低,

水源水矿化度更低，有利于聚合物增粘。用大庆油田的多数水源水，配制 $10\text{mPa}\cdot\text{s}$ 的溶液，所需聚合物的浓度只有 $400\sim 700\text{mg/L}$ 。

4) 大庆油田的各类油层，非均质变异系数在 $0.5\sim 0.9$ 之间，是聚合物驱油的有利地质条件。

聚合物驱数值模拟参数测定方法研究

庞宗威 程杰成 高秀兰 石梅^①

摘要 为了配合VIPCHEM数值模型的应用,建立了一套渗透率下降系数和不可进孔隙体积的实验方法,测定了聚合物1135(S)和1175(S)的粘度、阻力系数、渗透率下降系数和滞留量,研究了渗透率下降系数与岩石渗透率、注入速度、水的矿化度、温度和聚合物分子量之间的关系,从而给出了在较宽范围内要求的数值模拟参数,并为聚合物可行性研究及聚合物驱的矿场试验提供了重要依据。

一、引言

由于聚丙烯酰胺可以大幅度地增加水的粘度,同时通过它在多孔介质内的滞留有效地降低水相渗透率,从而达到降低流度比的目的。所以部分水解聚丙烯酰胺已经广泛地应用于改善水驱采收率^[1]。

流度降低的度量用阻力系数 F_R ,它定义为水的流度 λ_w 与聚合物溶液流度 λ_p 之比^[2],即 $F_R = \lambda_w / \lambda_p$ 。渗透率下降系数 R_K ,即残余阻力系数是注聚合物以后渗透率降低的描述,它等于注聚合物前水的流度与注聚合物后水的流度之比,或等于注聚合物溶液前后水驱渗透率之比^[3], $R_K = \lambda_{wi} / \lambda_{wa} = K_{wi} / K_{wa}$ 。渗透率下降系数是数值模拟和现场进行工程设计中的一个重要参数。本文将对它的实验方法、参数的获得及影响因素进行全面研究。

不可进孔隙体积定义为水能进入而聚合物不能进入的那部分孔隙体积。在数值模拟中如不考虑不可进孔隙体积的影响,将会给计算带来较大的偏差和错误^[4]。

为了配合VIPCHEM模型对聚合物驱油机理的研究和现场试验的方案制定及效果预测,我们建立了一套数值模拟参数的测定方法,并提供了粘度参数和吸附参数10个。本文主要是对渗透率下降系数和不可进孔隙体积进行实验研究并提供了相应的参数。

二、实验

1. 实验材料

所用聚合物是英国联合胶体公司生产的部分水解聚丙烯酰胺1135(S)和1175(S)固体粉末(表1)。

表1 聚合物的特性参数

参 数 聚合物	分子量(M_w)	水解度(%)
1135(S)	7.5×10^6	25
1175(S)	15×10^6	25

^①参加本项专题研究的还有王传柱,张璐光。