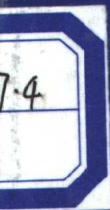


聚合物驱注采 调整技术

主 编 蔡燕杰

副主编 高生伟 李传晓 黄崇柏



中国石化出版社

主 编 蔡燕杰

副主编 高生伟 李传晓 黄崇柏

聚合物驱注采调整技术

中国石化出版社

内 容 提 要

本书是作者长期从事聚合物驱注采调整技术研究与应用成果总结。介绍了孤岛油田聚合物驱油藏动态变化规律;总结了聚合物驱不同阶段注采调整的方向和方法;给出了聚合物驱前深度调剖效果分析和聚合物驱后进一步提高采收率的试验效果。

本书可供从事聚合物驱油技术的研究人员及生产管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

聚合物驱注采调整技术/蔡燕杰主编.
—北京:中国石化出版社,2002
ISBN 7-80164-265-1

I.聚… II.蔡… III.高聚物-化学驱油
IV.TE357/46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 052675 号

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

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

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

河北省徐水县印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 32 开本 8 印张 179 千字

2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷

定价: 18.00 元

前言

国内有关聚合物驱油机理和方法研究的书已大量出版，而相关在矿场实施过程中的注采调整方法虽有报道但无系统的书。本书介绍了聚合物驱过程中不同阶段的注采调整方法，对我国提高聚合物驱油整体效果将产生一定的推动作用。

石油作为一种非再生的能源，提高其采收率一直是世界各国油藏工程师们致力研究的课题。在油田开发史上，利用天然能量开采石油叫一次采油；通过注水或注气来驱替油层中的原油叫二次采油，但二次采油后尚有一半以上的油滞留在油层中；通过向油层注入化学物质、蒸汽或微生物来驱油的方式叫三次采油。胜利油田自 90 年代开始聚合物驱油研究，于 1992 年在孤岛油田进行了聚合物驱先导试验，在取得成功经验的基础上开始扩大试验和工业推广，目前已有 8 个注聚区，注聚区油井产量占该厂总产量近三分之一。

聚合物驱油是一门综合性很强的应用技术，具有投资大、风险大的特点。因此，如何最大限度地提高增油效果和

张明

经济效益至关重要，而及时有效的注采调整是最经济有效的手段之一。本书作者长期从事聚合物驱油藏开发技术工作，为改善聚合物驱油效果，在注采调整技术方面进行了系统研究和总结，取得了可喜的成绩，实践证明这些调整方法是经济有效的，具有很高的推广和应用价值。现将孤岛油田聚合物驱注采调整技术方面的成果整理成册，以期与同行进行交流，共同推进聚合物驱油技术水平的进一步完善和提高。由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

由于每种注采调整方法都有其适用范围，具体应用过程中应根据油气藏的条件、增产要求和经济效益去采取相应的方法。注聚开发时间短，油藏动态变化具有不可逆性，调整时机稍纵即逝，所以技术人员要把握好油藏动态变化特点，及时采取相应的调整措施，才能取得最佳的增油效果 and 经济效益。

此书的出版，相信会进一步推动聚合物驱注采调整技术的发展，开阔有关技术人员的思路，为进一步提高油藏聚合物驱开发效果和经济效益创造有利条件。

编者

2002年2月

目 录

聚合物驱注采调整方法	
..... 高生伟 蔡燕杰 李传晓 黄崇柏 俞 平 (1)	
孤岛油田中二南 Ng3-5 单元聚合物驱油藏动态变化特征	
及影响因素 高生伟 杨 宁 董艾青 俞 平 杜琳琳 (15)	
中二南聚合物驱生产井产出液见聚特征分析	
..... 杨 宁 胡 东 王志刚 于 彦 王 勇 (27)	
中一区 Ng3 聚合物驱见效规律及影响因素定量表征	
..... 薛兆杰 关 悦 赵金亮 梁福元 (34)	
孤岛油田中一区 Ng3 聚合物驱后续水驱动态变化规律分析	
..... 关 悦 魏新辉 梁福元 赵金亮 王炎明 (47)	
孤岛油田聚合物驱效果影响因素分析	
..... 关 悦 周文胜 魏新辉 符碧英 (56)	
孤岛油田中一区 Ng5-6 辫状河流沉积油藏聚合物驱初期	
动态特征及调整方法	
..... 管士华 高生伟 俞 平 宋汝强 倪文俊 (67)	
孤岛油田西区提高聚合物驱开发效果方法研究	
..... 段新明 张伟峰 高小鹏 郭学民 (76)	
孤岛油田中二中 Ng3-4 单元特高含水期聚合物驱试验	
井组注采调整技术研究	
..... 刘明慧 周其花 蔡燕杰 高生伟 黄崇柏 (87)	

孤岛油田中二南 Ng3-5 单元聚合物驱后期边角井调整 方法	俞 平 高生伟 管士华 杜琳琳 韩希利 (104)
孤岛油田中二南 Ng3-5 单元聚合物驱注采调整技术	董艾清 贺建华 杨 宁 高生伟 黄崇柏 (110)
孤岛油田中二中 Ng3-4 聚合物驱层间挖潜方法探讨	王文明 程传旭 王炎明 郭学民 (126)
孤岛油田中一区 Ng4 单元聚合物驱注采调整技术	赵金亮 周文胜 吴丽文 关 悦 (133)
孤岛油田西区注聚区层系干扰研究及调整措施	高小鹏 张伟峰 郭学民 王炎明 (143)
孤岛油田聚合物驱过程中油藏注采调整方法及技术	梁福元 崔向英 薛兆杰 关 悦 毛卫荣 (154)
中一区 Ng5-6 单元聚合物驱实施前期调剖效果分析	吴丽文 赵金亮 王守珍 魏新辉 (165)
聚合物驱七点法井网适应性研究与实践	崔向英 郭学民 梁福元 程若江 符碧英 (173)
交联聚合物驱在孤岛油田 B19 块矿场应用	王炎明 薛兆杰 程传旭 程若江 关 悦 (185)
聚合物驱后 LPS 驱油先导试验	魏新辉 关 悦 吴丽文 符碧英 (195)
中二南注聚区转后续水驱方案研究	周文胜 崔向英 赵金亮 薛兆杰 刘文波 (202)
孤岛油田注聚区坝调剖技术应用	杨社红 杜祥义 杨士超 董秀君 韩希利 (209)
聚合物驱油井防砂工艺的应用与认识	王志刚 李传晓 于 品 隋志起 宋汝强 (222)
孤岛油田机械采油工艺对聚合物驱采油适应性分析	王志刚 李传晓 于 品 王 勇 董 辉 (229)
孤东油田七区西 5 ²⁺³ 南部提高注聚效果方法探讨	李林祥 (238)

聚合物驱注采调整方法

高生伟 蔡燕杰 李传晓 黄崇柏 俞 平

孤岛油田位于沾化凹陷东部，是一个高渗透、高饱和、高粘度、河流相韵律沉积的疏松砂岩稠油油藏，油层非均质性强。1971年10月投产，1974年9月投入注水开发，1992年12月综合含水已高达90.1%，采出程度31.4%。自1992年9月在中一区Ng3单元开始聚合物驱先导实验以来，目前已有注聚项目9个，覆盖孤岛油田总地质储量的31%，2001年年产油量占孤岛油田当年产量的二分之一。聚合物驱在行列井网、四点法井网、五点法井网、七点法井网均取得了成功。8年来，在油藏动态跟踪分析、预测、注采调整方法等方面进行了深入研究，取得了显著的降水增油效果。

1. 聚合物驱油藏动态变化特点

1.1 聚合物驱与水驱的不同点

1.1.1 注入介质不同

目前聚合物驱一般采用清水配制母液、污水稀释注入的方式，注入溶液粘度一般在 $15 \sim 35 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 之间，而在水驱时期，注入污水粘度只有 $1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 左右，由于注入介质特点发生变化，油藏动态变化必然与水驱时不同。

1.1.2 注入方式不同

聚合物驱采用段塞式注入方式，一般为2~3个段塞，时间2~3年左右，然后转入后续水驱开发。由于注入时间

短，聚合物驱与水驱特性差异大，注入动态、油井生产动态和油藏动态在几个月甚至几天内都可能发生明显变化，并且变化趋势具有不可逆性。因此，必须把握住有利的注采调整时机，才能取得最佳增油效果。

1.1.3 可采储量增加

聚合物驱驱油效率和波及体积都得到提高，油井含水下降产油量增加，剩余油进一步富集，例如 2000 年 10 月在中 24N1 附近新打的侧钻井中 24C1，其 5^3 层 4 米电阻和自然电位明显升高，表明该层在注聚后剩余油富集，射开该层初期日产油 18t，综合含水 74% (图 1)。此时采取的措施应突出及时性和有效性，尽可能提高原油采收率。

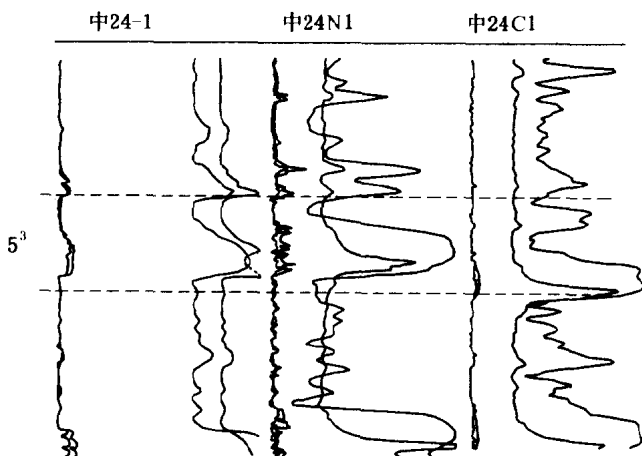


图 1 中 24-1、24N1、24C1 测井组合图

1.2 聚合物驱油藏动态变化特点

1.2.1 注入压力上升，注入能力下降

由于聚合物驱注入溶液粘度增加，以及聚合物在油层中

的滞留等原因,使渗流阻力增加,注入压力上升,注入能力下降。在相同的注入速度下,注入压力提高(表1)。

表1 孤岛油田聚合物驱单元注入井注聚前后注入状况表

单 元	水 驱		聚合物驱		注聚前后对比	
	启动压力/ MPa	油压/ MPa	启动压力/ MPa	油压/ MPa	启动压力/ MPa	油压/ MPa
中一区 Ng3 先导	4.7	6.5	7.2	8.8	2.5	3.3
中一区 Ng3 扩大	4.8	6.5	7.7	9	2.9	2.5
中一区 Ng4	4.6	7.1	8.7	9.8	4.1	2.7
中二区先导	3.9	4.4	7.8	9	3.9	4.6
中二南	4.2	5.2	8.2	9.1	4	3.9
平均	4.4	5.9	7.9	9.1	3.5	3.2

1.2.2 油层渗流阻力增加,产液能力下降

由于注入的聚合物溶液粘度高,再加上油层对聚合物的吸附捕集而引起渗透率下降、油井含水下降等原因,导致油井产液能力大幅度下降。孤岛油田注聚后油井动液面平均下降 100~150m,产液量下降最大幅度达 60%(图2)。

1.2.3 见效时间和见聚时间关系

数值模拟和矿场实验都证明,注聚合物后,油井含水不会立即下降,只有聚合物注入一定量时,才能见到含水下降、产量增加的效果。由于注入速度不同,油藏地质条件不同,导致孤岛油田不同注聚区块见效时间和见聚时间存在较大差异。中二南注聚区在注聚 8 个月后见到降水增油效果,个别油井在注聚几天后即发生聚窜。按照见效和见聚先后关系可将油井分为先见效后见聚和先见聚不见效两类。先见效后见聚油井按其含水变化形态可分为“U”型、“V”型和“W”型三种类型。“U”型井以中心井、单层井居多,从含

水变化趋势上看具有含水下降迅速、含水在谷底持续时间
长、含水回返与下降相比有明显“长拖尾”的特征。“U”
型井含水下降幅度大于其它类型井，含水下降最大幅度
31%。“V”型井含水下降到最低点后迅速回返，含水下降
幅度小于“U”型井，含水平均下降 26%。“V”型井分两种
情况：一种具有较明显的对称性，该类井含水下降幅度小，
增油效果差。另一种是不对称的“V”型井，该类井含水下

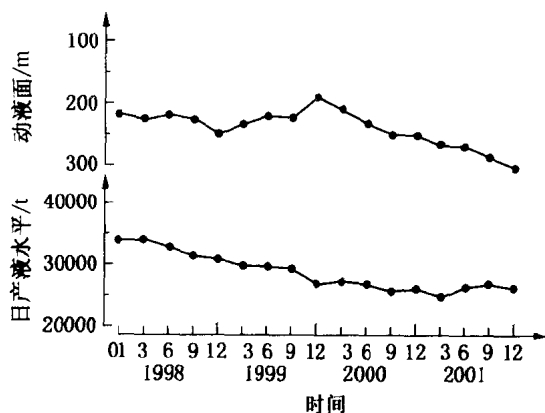


图2 孤岛油田聚合物驱
单元日产液量、动液面变化曲线

降幅度大，增油效果好，见效形状上有明显的“拖尾现象”。
主要原因是聚合物在各个方向上推进速度不一致，见效时间
上存在差异。转后续水驱后“V”型井拖尾现象则主要是聚
合物段塞被后续水稀释所造成的。“W”型井含水变化形状
上表现为“W”形，主要是受水驱干扰强烈，含水受注水和
注聚双重影响而发生变化，这是造成“W”型井情况之一；
另一种“W”型井属中心井，受注采调整影响较大，聚合物

段塞在各个方向推进速度差异较大，一个方向见效高峰期过后，另一推进慢的方向又开始见效，形成多个“V”字叠加，形如“W”型。

1.2.4 含水回返与见聚浓度关系

聚合物在油井突破后，采出液中见聚浓度逐步上升，当见聚浓度达到一定值时，油井含水便不再下降。如中二南注聚区在见聚浓度达到 200mg/L 时，油井含水一般不再下降（图 3）。

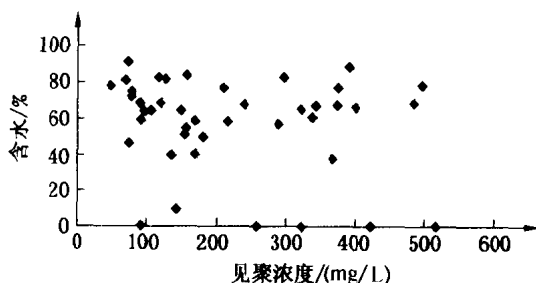


图 3 孤岛油田中二南注聚区油井含水回返值与见聚浓度关系图

1.2.5 聚合物驱对层内或层间差异较大的油层调整效果差

聚合物溶液虽有一定的调剖作用，但对层内差异较大的油井调整作用不明显，需在注聚前进行大剂量调剖。对层间压力、物性差异较大的油层可以通过调整油层压力改善聚合物推进状况。如中二中先导注聚区 Ng3 压力低于 Ng4，从吸聚剖面看，Ng3 吸聚状况好于 Ng4，主要采取了以下两种调整方法：从注聚井方面，通过扼制 Ng3 的注入速度来加快 Ng4 的注入速度；从油井方面，Ng4 完善井网和油井提液，通过 Ng4 增加采油井点和油井提液来加大 Ng4 采液量，以促

使注聚量增加。通过以上调整, Ng3 油井 11 口, 见效 11 口; Ng4 油井 6 口, 见效 4 口。

2. 注聚过程中可能遇到的问题

2.1 井网完善程度差

孤岛油田注聚单元投产时间均较早, 在生产过程中套损率较高, 虽然在转注聚前期对井网进行了大规模的完善, 但由于油水井绝大多数是老井, 根据孤岛油田油水井套损规律, 套损率与完井时间呈对数递减关系, 投产时间越早, 套损率越高。在注聚过程中油藏动态变化大、注采压力比水驱明显增大, 使油层更易出砂导致套损而停产停注, 影响井网完善程度, 所以在注聚过程中需要及时完善井网。

2.2 储层大孔道发育

孤岛油田储层胶结疏松, 经过 20 多年的注水开发, 大孔道普遍发育。中二中馆 3-4 在 1989 年 7 月在中 29N11、中 29N13、中 31-11 井区进行监测放射性示踪剂分析, 一线油井中 30NB20 井井距 160m, 2 天见示踪剂, 平均窜流速度 80m/d; 二线油井中 28-318 井距 240m, 4 天见示踪剂, 平均推进速度 60m/d; 随着时间的推移, 三、四线井在不同程度上也见到了示踪剂。1997 年 12 月, 注聚试验区 9 口水井油压平均为 5.2MPa, 5 口井油压低于 2.5MPa, 视吸水指数 $59.2\text{m}^3/(\text{MPa}\cdot\text{d})$ 。

2.3 平面上油井见效不均

主要有两方面的原因, 一是平面上储层物性差异导致聚合物推进不均匀; 二是在储层发育较好的情况下, 由于平面上注采失调引起的聚合物推进不均匀, 推进快的方向油井见效快, 但见聚浓度高, 而推进慢的方向则油井迟迟不见效。

特别是在注聚中期，这种现象尤为明显，此时应及时调整平面矛盾。

2.4 层间见效不均

由于目前注聚采用光油管多层合注，受层间发育或压力影响，导致层间吸聚差异较大，使层间见效不同，这种情况应从注聚初期开始调整层间矛盾，促使多层见效。

2.5 注聚区与外围水驱区块压力不协调

孤岛油田的注聚区均为人为划分的不封闭单元，大量的边角井内部受注聚影响，外围受水驱影响，由于聚合物溶液流动阻力比注入水大，致使边角井附近压力场不均衡，使部分边角井见效差或不见效。通过近几年的注聚实践，总结出了最佳的降水方法，一是逐步降水降压法，即首先对外围水井幅度降水到原配注 75%，如油井长时间不见效，再将注水降到原配注的 50% 左右；二是分阶段降水降压法，即首先对外围水井大幅度降水到原配注 40% 以下甚至关井，油井见效后恢复注水到原配注的 60% 左右。降水降压时机的选择：一是选择注聚区地层能量高时进行外围水井降水，此时实施外围降水不会影响注聚区中心井的正常生产；二是选择聚合物向边角井推进缓慢的方向进行外围降水。实施后，既保证了注聚区内聚合物的均匀推进，又防止了外围注入水的突进，提高了边角井开发效果。

2.6 不同区块注聚后动态反映差别较大

孤岛油田主要发育有曲流河沉积和辫状河沉积两类油藏，前者油层发育好，主力油层一般大面积连片分布，油水井多呈多向对应，注采对应好；而后者油层发育差，多呈条带状零散分布，注采对应差。由于油藏地质特征不同，这两类油藏投入注聚开发以后必然表现出不同的动态特征。在实

践中，应从油藏地质特征入手，根据油藏动态变化情况，做相应有针对性的注采调整，才能取得好的效果。

3. 聚合物驱不同阶段注采调整方法

根据注入聚合物段塞推进情况和油藏动态变化特征，将注聚期细分为注聚初期、中期和后期三个阶段。针对不同阶段的动态特征和出现的问题，采取相应的注采调整措施是提高注聚效果的保障。

3.1 注聚前期油藏准备工作

为保证注聚过程优质、高效、顺利注入，完善注采关系，弥补地层亏空，提高注水效率，并结合油田开发过程中存在的问题，开展精细油藏描述工作，深化油藏动态认识，为注聚期油藏动态分析作好准备。一是完善井网，扶停产停注井，打更新完善井，油井转注；二是油水井补孔、改层，提高注采对应率；三是改善油水井注采能力，对吸水能力差的注入井采取补孔、复射孔、酸化等措施，对存在大孔道的注入井进行注聚前大剂量调剖，调整生产参数；四是平衡地层压力，对压力场高的单元采取降压措施，避免聚合物注入困难，对压力场低的单元及时补充能量，防止注聚后油井动液面过低。

3.2 注聚初期注采调整方法

注聚初期是聚合物段塞前沿形成的关键时期，在注聚前期油藏准备工作的基础上，初期注采调整工作要以水井为主。

3.2.1 注入井深部调剖

注聚初期，对注入压力过低或上升缓慢、阻力系数下降的注聚井进行调剖，防止聚合物单向突进，提高聚合物波及

体积。可以采取加交联剂的方法进行深部调剖，促使聚合物和交联剂在地层深处产生缓慢交联，形成弱凝胶体系，靠残余阻力系数成倍增长，使后续注入溶液转向未波及区域。

3.2.2 提高注入井的注入能力

由于注入介质的改变，注聚初期注入井油压一般上升2~3MPa左右，为提高注入井的注入能力，一是要提高注采对应率，二是对吸水能力差、注入困难的井采取补孔、复射孔、酸化等措施，确保第一段塞聚合物前沿的有效形成。

3.2.3 调整产液结构

由于驱油介质的改变，转聚合物驱后必然有一个形成新的压力系统的过程。注聚初期注采压差增大地层压力下降快，同时地层压力场的变化不均衡：高渗区压力基本稳定，低渗区压力低且压力下降明显，躺井明显增加。因此应适时降低高渗区高含水油井的产液量，及时关停高出聚井，通过调整产液结构既可改变聚合物推进方向，也可避免低渗区油井、低含水油井因地层压力下降而产液能力降低，保持稳产，实现由水驱向聚合物驱的平稳过渡。

3.3 注聚中期注采调整方法

注聚中期包括聚合物段塞前沿远离注入井的压降漏斗至油井压降漏斗前的推进阶段，是注聚期注采调整的关键时期。其调整方法以注入井和生产井共同调整为主，目的是抑制推进快的方向，加快推进慢的方向，均衡段塞推进速度。

3.3.1 对不见效井适时提液，促进见效

在注聚中期聚合物段塞已初步形成，油井逐渐见效，由于注聚后阻力系数增大，油井产液指数下降，油井长期低液量开采会导致聚合物推进过慢，不利于油井的见效；同时初见效油井低效生产，也需要提液。在此阶段要重点对液量

低、有提液潜力的不见效井和初见效的低效井进行提液，促进油井早日见效。

3.3.2 治理高见聚油井

注聚中期的高出聚井主要表现为见聚浓度高、见聚井数上升快、油井含水下降幅度不大，有效期较短，增油效果不好。高出聚井以网外井、单向对应井和高含水井为主，由于井距小，聚合物单向推进过快导致有效期短。据此可以通过控制来聚方向的注入量，促进聚合物向其它方向推进，以提高整体注聚效果。

3.3.3 调整水驱与聚合物区平面压力场，促进边角井见效

由于边角井内部受聚合物溶液的影响，外部受外围注入水的影响，造成边角井附近压力场不均衡，使这部分井见效差或不见效。根据近几年的注聚管理经验研究总结出了两种对外围水井实施降压降水、协调周边压力场，促进边角井见效的方法和最佳降水时机。降水时机应选择一是在注聚区地层能量高时进行外围水井降水，此时实施外围降水不会影响注聚区中心井的正常生产。二是选择聚合物向边角井推进缓慢的方向进行外围降水，这样保证了注聚区内聚合物段塞的推进，又防止了外围注入水的突进，使得边角井开发形势进一步好转。

3.3.4 缓和层间矛盾，促进均衡见效

孤岛油田油层非均质严重，层间压力差异大。由于采用多层合注，压力高的层注入量少，对应油井见效差；压力低的层注入量偏多，注入速度较快，对应油井见效快、见聚快、见聚浓度上升快。这不仅会影响整体开发效果，也会造成聚合物的巨大浪费。为缓和层间矛盾，促进层间均衡见