

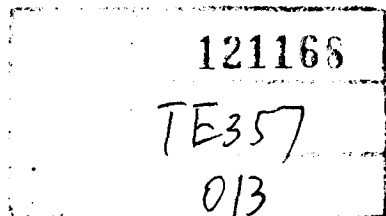
波及技术手册

刘翔鹄 徐文芹 王亚华 郭呈柱 何光中 等译

胡博仲 刘翔鹄 审校



石油工业出版社



波 及 技 术 手 册

刘翔鹤 徐文芹 王亚华 郭呈柱 何光中 等译

胡博仲 刘翔鹤 审校



石油0108476



石油工业出版社

内 容 提 要

波及技术是用于提高油藏和油井采收率的工艺方法, 这些方法不属于常规的井眼结构和减增产技术。波及技术能满意地适用于宽广的油藏管理范围和环境目标。

本书可供从事油田开发、采油工程和三次采油工作的工程技术人员、管理干部和石油院校师生阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

波及技术手册/刘翔鹗等译.

北京: 石油工业出版社, 1996. 6

ISBN 7-5021-1773-3

I. 波…

II. 刘…

III. 波及采油

IV. TE357.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 113

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

地矿部河北地勘局测绘院印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 12.25 印张 20 插页 310 千字 印 1—2400

1996 年 6 月北京第 1 版 1996 年 1 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1773-3/TE. 1499

定价: 80.00 元

目 录

前 言	(1)
第一章 波及问题	(2)
一、引言	(2)
二、开采机理	(3)
1. 一次采油	(3)
2. 二次采油	(4)
三、问题来源	(4)
1. 近井地带	(5)
2. 油藏的因素	(6)
四、未波及现象	(7)
1. 流体进入套管和地层环空 (管外串槽)	(7)
2. 锥进和峰 (或脊) 进	(9)
3. 高渗透层通道	(11)
4. 指进	(12)
五、注入井	(12)
1. 注入压力和排量史	(12)
2. 注水剖面	(13)
3. 井下电视	(13)
4. 井间连通的示踪剂监测	(13)
5. 干扰和脉冲试井	(13)
6. 断层位置	(13)
7. 容积分析	(13)
参考文献	(14)
第二章 问题判别及处理评价的工艺技术	(17)
一、引言	(17)
二、波及处理评价	(17)
1. 数值模拟方法	(17)
2. 生产井	(17)
3. 注入井 (Hall 图)	(17)
三、裸眼井测井	(19)
1. 应用	(19)
四、固井质量评价测井	(19)
1. 应用	(19)
2. 常规胶结测井	(19)
3. 瞬时波形特征	(21)

4. 超声波胶结测井	(21)
五、套管评价测井	(22)
1. 应用	(22)
2. 机械测井仪	(23)
3. 电磁波相移测井仪	(23)
4. 超声波法	(25)
六、脉冲中子测井	(26)
1. 应用	(26)
2. 脉冲中子俘获测井	(26)
3. 脉冲中子能谱测井	(27)
七、生产测井工具和分析	(28)
1. 流体密度测井	(28)
2. 含水测井	(28)
3. 流量计测井	(29)
4. 压力测井	(29)
5. 温度测井	(29)
6. 实例	(30)
八、试井	(31)
1. 油藏非理想条件的影响	(31)
2. 多井试井	(33)
九、井下电视应用	(34)
1. 在油井环境中的应用	(34)
2. 流体和固体颗粒流入井中的监测	(34)
3. 测井	(35)
4. 问题识别和修井处理计划	(35)
5. 过程监测	(35)
6. 处理后的验证	(35)
7. 操作限制	(35)
8. 井下电视在其它方面的应用	(36)
十、地震—地质油藏表征法 (油藏描述)	(36)
1. 油藏评价法	(37)
十一、油藏监测	(37)
1. 油藏监测的概念	(38)
2. 油藏监测过程	(38)
参考文献	(42)
第三章 诊断问题所用的化学剂	(45)
一、用作水驱示踪剂的荧光染料	(45)
1. 概述	(45)
2. 示踪剂测试设计和评价手册	(46)
二、K—MAX	(53)

1. 工艺描述	(53)
2. 使用范围	(54)
3. K—MAX 系列项优点	(54)
4. 现场混合通常要注意的事项	(55)
5. 挤入	(55)
6. 化学剂说明	(56)
参考文献	(60)
第四章 聚合物处理	(61)
一、聚合物处理	(61)
1. 引言	(61)
2. 单体/聚合物 (K—Trol) 处理	(61)
3. 延迟复合聚合物处理 (MATROL 系列)	(61)
4. 提高油相渗透率的聚合物 (WOR—CON [®] 处理)	(61)
5. 外部催化硅酸盐体系 (FLO—CHEK [®])	(62)
6. 内部催化硅酸盐体系 (INJECTROL [®] 处理)	(62)
7. 烃基超细水泥 (MOC/One)	(62)
8. 挤入工艺	(62)
9. 设计考虑因素	(63)
二、K—Trol[®]修井系列	(63)
1. 工艺描述	(63)
2. 施工设计	(63)
3. 混合过程	(65)
4. 施工	(66)
5. 处理评价	(66)
6. K—Trol 分段处理	(67)
7. 化学品描述	(67)
三、MATROL 和 MATROL II 的应用	(70)
1. 工艺描述	(70)
2. 处理设计	(72)
3. 挤入技术	(73)
4. 限制条件及有关因素	(73)
5. 化学品描述	(73)
四、WOR—con 系列	(76)
1. 工艺描述	(76)
2. 处理步骤	(77)
3. 处理和挤入技术	(78)
4. 处理评价	(78)
5. 处理设计	(78)
6. 设计调整	(78)
7. 输送和混合装置	(79)

8. 化学品描述	(79)
五、ANGARD 的应用	(81)
1. 工艺描述	(81)
2. 预防腐蚀	(81)
3. 浆液的制备	(83)
4. 混合过程	(83)
5. 挤入技术	(83)
6. 后清除	(83)
7. 化学剂描述	(84)
六、ANJEL [®]	(86)
1. 工艺描述	(86)
2. ANJEL 冻胶的混合过程	(86)
3. ANJEL 浆液的混合过程	(86)
4. 化学剂描述	(88)
七、FLO-CHEK [®]	(88)
1. 工艺描述	(88)
2. 挤入过程	(89)
3. 化学剂描述	(90)
八、INJECTROL [®]	(90)
1. 工艺描述	(90)
2. 实例	(92)
3. 处理方法	(92)
4. 混合设备	(93)
5. 设备清洗	(93)
6. 混合方法	(93)
7. 注入井的挤入步骤	(94)
8. INJECTROL 堵剂及辅助剂	(95)
9. 化学剂描述	(96)
九、OXOL II	(98)
1. 工艺描述	(98)
2. 混合方法	(98)
3. 处理设计	(98)
4. 化学剂描述	(98)
参考文献	(100)
第五章 柴油体系	(103)
一、柴油水泥浆 (DOC)	(103)
1. 概述	(103)
2. 柴油水泥浆的组分	(104)
3. 柴油水泥浆的优点	(104)
4. DOC—3 表面活性剂	(104)

5. DOC 浆的重度	(105)
6. 现场柴油脱水	(106)
7. 挤注技术	(106)
8. DOC—10 表面活性剂	(106)
9. DOC 压裂处理	(107)
10. 候凝时间	(107)
11. 油基水泥浆凝固后的抗压强度数据总结	(107)
12. 滤失性讨论	(108)
13. 二次完井	(108)
14. HYFLO* 表面活性剂	(110)
15. 其他的用途和混合物	(110)
16. 柴油水泥浆的含砂量	(110)
17. 柴油水泥浆中水泥的亲油性	(111)
18. 高相对密度的柴油水泥浆	(111)
19. 柴油水泥浆不凝结的原因	(112)
二、膨润土—柴油体系 (BDO)	(113)
1. 膨润土—柴油泥浆 (BDO)	(113)
2. 挤注 BDO (Gunk 挤注)	(113)
3. BDO 隔离液	(115)
4. 膨润土—水泥—柴水泥油浆 (BCDO)	(115)
三、MOC/One 选择性堵水方法	(117)
1. MOC—A 表面活性剂	(117)
2. Micro Matrix 水泥的混合应用	(117)
3. MOC/One 水泥浆的设计	(118)
4. 混配程序	(119)
参考文献	(120)
第六章 计算机软件	(121)
一、引言	(121)
1. 订购软件	(121)
2. 技术支持	(121)
3. 软件许可	(121)
4. 波及技术计算机软件	(122)
二、井下循环温度程序 (BHCT)	(122)
1. BHCT 数据输入格式	(122)
2. 数据输入格式解释	(123)
3. BHCT 实例	(125)
三、孔道体积计算程序 (CHANNEL)	(127)
1. CHANNEL 数据格式	(127)
2. 数据输入格式解释	(128)
3. CHANNEL 实例	(128)

四、井筒和注入层温度剖面预测程序 (COOLW)	(129)
1. COOLW 数据输入格式	(129)
2. 数据输入格式解释	(129)
3. COOLW 文件实例	(130)
五、注水动态控制程序 (KTROL)	(133)
1. 特点和假设	(133)
2. KTROL 数据输入格式	(133)
3. KTROL 数据输入格式解释	(134)
4. KTROL 实例文件	(135)
六、控制注入水的动态曲线绘制程序 (KPLOT)	(139)
1. KPLOT 数据输入格式	(139)
2. KPLOT 数据输入格式解释	(139)
3. KPLOT 数据文件示例	(140)
4. 输出文件实例	(140)
七、确定水锥高度的程序 (WATERC)	(140)
1. WATERC 数据输入格式	(140)
2. 数据输入格式注释	(141)
3. WATERC 实例文件	(141)
八、控制产出水推荐方案程序 (WORCON)	(142)
1. WORCON 数据输入格式—英制单位	(142)
2. WORCON 数据输入格式—公制单位	(143)
3. 数据输入格式注释	(143)
4. 程序执行	(143)
5. WORCON 数据文件举例	(143)
九、堵水专家系统 (XERO)	(145)
1. 系统的目的	(145)
2. 处理阶段	(145)
3. 第一阶段—问题的确认	(145)
4. 第二阶段—堵剂的选择	(146)
5. 第三阶段—挤入工艺	(147)
6. 系统屏幕特性	(147)
7. 数据输入屏	(147)
8. 建议屏	(151)
9. XERO 体系输出举例	(155)
十、油管收缩及油管和套管的应力计算程序 (TCP 和 CASL)	(159)
参考文献	(160)
第七章 处理剂挤入、锥进和峰进产量计算方法	(161)
一、处理剂挤入计算方法	(161)
1. 改进的 Hall 图	(161)
2. 压力不稳定试井法确定处理量	(162)

3. 油藏模拟方法确定处理量	(164)
二、水锥和峰进产量	(164)
1. 直井锥进计算法	(164)
2. 水平井峰进产量的计算	(172)
参考文献	(178)
第八章 设备	(180)
一、设备	(180)
1. 简介	(180)
二、混合和高压泵入系统	(180)
三、大批量混合系统	(180)
四、监测系统	(181)
五、过滤系统	(181)
六、挠性油管	(181)
1. 描述	(181)
2. 系统的组合部件	(182)
3. 井动态的诊断	(182)
4. 波及技术用料的注入	(182)
5. 井下 CTU 工具	(183)
6. CTU 中使用的膨胀式封隔器	(183)
单位换算表	(184)
附图	(185)

前 言

油气生产井不需要的流体产量是控制油井开采寿命的一个极限参数。产出水处理费用正在成为许多开采者的主要负担。环境问题和新的管理条例也影响到井的经济寿命。

开采者不能再忽视伴随不需要采出物发生的问题了。以前的经济分析指出，随着高水—油比或高水—气比而形成的高产量是可以接受的。然而，现在从油气生产井中采出的水必须符合严格的环保规定，即规定怎样和在什么地方对其处理。

过去很难认为所花在堵水上的费用是合算的，因为其效果往往很差。最常用的堵水技术（挤注水泥）成功率仅为 50%。其它较特殊的处理措施，其成功率甚至更低，仅仅作为对衰竭井或没有多大储量井的最后手段而进行的试验。

多数堵水处理失败的原因可能由于下列因素：

- 问题的根源没有搞清楚；
- 采用了不合适的处理剂或处理措施；
- 措施正确，但应用得不适当。

对问题没有正确地诊断出和/或进行处理，是由于缺少可以获得的有关资料。有关产出水从正确地诊断问题到恰当进行处理，这方面有相当多的技术，但这些资料至今尚未能汇编成册。

这一手册的设计目的是为了介绍已有的调整波及技术，包括：

- 综合确定波及问题原因的各种方法；
- 解决这些问题的技术和专门的处理设计；
- 处理方法的适当应用。

第一章 波及问题

一、引言

解决问题首要的步骤是综合判定问题的来源。只有当问题已被正确地诊断出后，才有可能有效地进行处理。正如一个医生用绷带不能有效地处理内出血一样，挤水泥不能有效地处理水锥问题。

同样，假如可能的话，预测潜在的问题，并采取措施防止或减小它，比问题发生后才采取措施要好。再如，一个人得到常规的医疗检查、合理的饮食和锻炼，比直到心脏需要作搭桥手术再重视其健康要好。同样，采集油藏的资料，模拟其未来的动态，并作减少或消除或将来的水锥问题的处理要比到油井水淹再重视油井的正常状态更为有效。

要理解问题的根源或所潜在来源需要对油井和油藏参数的全部情况进行研究。

考虑的参数包括：

- 开采机理；
- 油藏渗透率和孔隙度；
- 渗透率的各向异性和非均质性；
- 油、水、气的相对渗透率；
- 净地层高度；
- 完井段的产层百分数；
- 射孔眼的位置；
- 油藏倾角；
- 原始水—油和气—油界面；
- 束缚水和残余油和气饱和度；
- 页岩或其他低渗透率层的位置及其连通性；
- 出水前的生产时间；
- 油、气、水的开采史；
- 产液的位置和液体进入井筒的类型；
- 水泥胶结测井评价；

当需要评价一项波及问题时，以上所列出的全部资料并不总是都能取得的，并且所取得的资料对判定问题来源来说，可能够了也可能不够。本章讨论了形成波及问题的各种不同机理，这可由获取的资料作出较好的评价，也可能根据获取的资料更好地确定可能出现的问题。假如需要更多的资料，本章可以帮助指出获取这些资料的恰当的工艺技术。

当然，问题的判断需要汇集已有的资料并了解其意义。哈利伯顿公司的用计算机运算的堵水专家系统（TERO，“不含水”的希腊语），是一种很有帮助的工具。XERO 系统应用人工智能技术帮助诊断问题、帮助选择合适的处理流体体系，依据所诊断的问题和工程计算的结果作出处理设计的建议。XERO 系统诊断问题阶段是根据已有资料推论出最有可能的问题，对所诊断的一个潜在问题显示出对问题断定的置信度。如果程序确定需要更多的资料，它将告知用户。在第六章“计算机软件”中将对 XERO 系统的使用和操作系统进行全面讨论。

二、开 采 机 理

正确地了解油藏的动态提供了正确确定问题的基础,即确定未来是否大量出气或出水,或者确定目前的出气量或出水量是否大。产油量和最终采收率及油藏中产生的其他不需要的流体量在很大的程度上取决于驱替机理、岩石性质、流体性质、构造起伏、井的位置和油藏管理技术。

1. 一次采油

油气开采的基本驱动机理为衰竭法、水驱、分离和重力驱动等。根据 API 公报 D—14^[1] 所载,溶解气驱采收率最低,天然水驱最高(图 A—1)。其特点是溶解气驱采收率为 15%~27%,预计水驱采收率占原始储量的 35%~70%。两值之间是复合驱动,包括有限水驱或气顶驱、分离或重力泄油等。

下面对每个驱动机理做一简要叙述。

(1) 衰竭法(溶解气)驱动

衰竭法驱动是依靠天然气和原油的膨胀做为其推动流体的能量来源。在一个未饱和的油藏中,油和溶解气体的膨胀是流体产生的主要原因。当压力降到泡点以下时油藏变为饱和,释出的气体以相等的体积开始替置产生的原油。一旦气体的饱和程度达到其能流动的点,气体即随油产出,使作为能源的这种情况逐渐衰竭,每采出单位体积的原油需要更多的气体膨胀。油的相对渗透率降低,而生产的气—油比迅速增加。

(2) 无对流的分离驱动

在地质构造起伏大的储集油气藏中,油和气成层状或分离状态是常见的,如油藏上覆有气顶。此类油藏,垂向渗透率低,或存在有页岩层或不渗透层,阻挡了油或气随重力供给过程的对流。其一次驱动机理是气顶膨胀。虽然由于气锥或其它原因造成气顶压力衰竭是有害的,但对这类油藏常作为向气顶注气保持压力的目标。

(3) 重力驱(带对流的分离驱动)

油层上覆的气顶的形成和扩大可能起因于运行流体的分离过程,油由于重力而下行而气由于浮力作用而向上运移。在这类油藏中,垂向渗透率必定有利于烃类运动,而在体积上,必定具备向上运移的气体。那么多的油向下流动,如当油的流度接近气体流度时,流体分离速度增大。由于气锥或其他原因使气顶衰竭对油藏动态是特别有害的,因为这类油藏不宜作为向气顶注气的目标。

(4) 水驱

天然水驱油藏的形成是由于含油层嵌入水层或者由于油藏与水可渗流的露头水力上相连通。当水源能充足地替置产出原油的体积时,认为该油藏具有有效水驱。假如开始水的移动是从边界向内,或多或少地平行于油层平面,这种油藏称为边水驱油藏。假如初始水是从下向上移动的,则称为底水驱油藏。

水通常能提供强大能量维持驱油机制,但要有一定代价才行。通常决定于完井段长度、油的粘度、垂向渗透率、油水密度差和射孔段、油水界面的距离。在油下面的水能形成水锥,其结果最终进入油井。

可能与露头联通的底水层的水替置采出的原油体积时,发生垂向水侵。由于油藏衰竭水

—油界面上升, 并可能最终达到射孔段, 导致产水。

水水平侵(边水驱)入油藏是由于与露头有水动力联通, 这种情况能导致大量水侵。通常, 这现象表现为油气扩散方程解中的恒压边界^[2,3]。如果渗透率是非均质的, 驱替水能渡过许多含油的低渗透层在高渗透层形成通道。同样, 如果水较气易于流动, 即水—油流动比大于1, 水能穿过油层形成指进, 再度降低波及效率而波及不到油。

2. 二次采油

在一次采油过程中, 原油被天然的油藏能量所驱替进入生产井。除一次采油外的任何改善石油开采的方法都称作提高采收率法(EOR)^[4]。二次采油方法归属于不包括注入流体与地下原油起化学反应在内的 EOR 法。象注水、注气的压力保持法和聚合物驱是二次采油方法中应用最广泛的。

(1) 注水保持压力

注水是一种二次采油方法。当一次采油达到最后阶段后向油藏注水来提高采收率。注水问题是如果水较油流动度大在生产井早期突破, 这是由于水沿高渗透率带串流或形成指进。

注水动态的预测技术类似于自然水流, 但包括另外计算注水井组和波及效率的预测。

(2) 注气保持压力

注气用于保持油藏压力在一个选定的压力范围内, 或用回注产出的天然气增补油藏的天然能量。全部或部分压力保持法可提高油气采收率并改善油藏动态。多数情况下, 注气的方法和机理类似于注水, 并且因大通道和指进而导致早期气串。

考虑到天然气溶于油藏原油中, 和轻烃汽化的作用时, 注气油藏可以象注水油藏一样模拟^[5]。

虽然, 不论是生产或注入井都有许多动态问题, 在某些情况下, 没有清楚的界限。重要的是要确定问题的来源, 而后可以对合适的井进行合适的处理。确定流体是否确实过早串入也很重要。在不同天然驱动的油藏中及进行提高采收率作业时, 即便每件事情都是以根本上的完善性进行的, 在某个时刻预计某种不需要的流体会突破到井。

三、问题的来源

如果事实上确实存在问题或者各种事情都已按计划进行, 那么问题的实质就可以如实地确定下来。能采用诸如油藏模拟、容积分析、递减曲线分析和与邻近油田对比等方法, 当油藏衰竭时可以有助于问题的确定。用原油 PVT 分析确定生产的气是产自气顶还是溶解气的分离。

下文列出潜在的各种波及问题。这些问题可区分为近井地带或与油藏有关。然而其中有些问题可列为任何一类的。例如, 虽然层间串通是与裂缝穿过油层有关, 可以视为与油藏有关, 但将其列为近井地带的问题。同样, 虽然锥进和峰进是在近井地区发生, 可能因完井太靠近水层或气层的结果, 但认为是与油藏有关。

对每个问题, 都介绍了可以帮助确定问题来源的工艺。关于液流进入套管/地层环空、锥进和峰进、大通道和指进等的详细资料在“非波及现象”一节中论述。第二章“问题确定和处理评价的工艺技术”包含有这章所提到的许多技术工艺的更为详情的资料, 因这些资料与井的波及问题有关。

1. 近井地带

(1) 套管漏失

套管漏失经常是由于料想不到的产水或产气量的增加而被发现。生产测井如温度、流体密度、水力流量计（叶轮）能单独使用或联合使用确定各种不同的流体进入井筒的位置。多门热中子衰减时间测井 TMD (Thermal Multigate Decay) 和脉冲伽马能谱测井 PSGT (Pulsed Spectral Gamma Test) 能帮助找到水进入套管的位置和套管内的水流。套管评价测井用于发现套管裂缝和孔洞，和套管变形，以上可以使不需要的流体进入套管。测井也能发现腐蚀的情况，腐蚀可以导致套管漏失。井下电视可以很好地观察不同的流体进入套管的位置和井身的状况。对比产出水和邻近地层水的分析结果可用于寻找漏失的位置。

(2) 管外串槽

这类问题可以发生在油井生产期的任何时间，但是初始完井或增产措施后是最引人注目的。此时，不期望地产水是对串通通道存在的最好说明。套管—地层间环空中的串通是由于水泥/套管的胶结或水泥/地层的胶结不好造成的。固井评价测井通过测定水泥套管或与地层的胶结程度来发现管外窜通。它包括水泥胶结测井和脉冲回声测井。

温度测井展示出关井后测井曲线对地温梯度曲线的偏移，这说明管外流体的运动。一个地层如显示异常高温说明流体上流，而异常低温则说明流体向下流动。

TMD 和 PSGT 测井监测和量化套管外通道水流流量。

关井时采用噪声测井 (BATS) 有助于找出可能在管外流动的流体。

(3) 隔层串漏

即便是天然的隔层，如致密的页岩层，分隔开不同的流体，固井质量也很好，但页岩层可能隆起（水平位移）或在井眼周围产生裂缝，这是由于生产而形成的压力差而造成的，这样就可能使流体通过（图 A—2）。

井眼周围流体通过地层通道的运移可以用井温测井监测出来，因为关井时显示出与地温梯度的温度偏移。异常高温区说明流体向上流动。异常低温区说明流体向下流动。

TMD 和 PSGT 测井监测出和定量近井眼地带地层通道的水流。

(4) 岩屑、结垢和微生物

岩屑、结垢和微生物沉积在射孔孔眼或注水井井眼附近能限制通过孔眼的流量，降低吸水能力并有可能使流体转向不需要的地区。岩屑、结垢和微生物的存在可能表示有渗透条带或串流。

对比注入水或油藏流体的水分析结果，是一个很好的确定是否可能结垢的方法。所有注入地层的流体必须评价是否有可能在油层表面生成微生物。结垢问题可以用井下电视进行监测。

(5) 完井进入或靠近水或气层

完井进入不需要的流体层可使它立即生产该流体。即便是射孔段位于原始油水界面以上或气—油界面以下，不论靠近哪个界面，由于锥进和峰进产出不需要的流体是很容易和很迅速的。应对岩心资料、钻井日记和裸眼测井反复检查确定可动水的地层垂直边界点，例如，能结合电阻率和孔隙度的资料可确定水层和油层位置。

2. 油藏的因素

(1) 锥进和峰进

直井的流体锥进和水平井的流体峰进是形成井底周围压力下降而使附近有联通的层内的水或气向完井井底移动的原因(图 A—3)。平常,水或气能突破进入射孔段,顶替掉全部或部分油的产量。一旦发生突破,随着产液中不需要流体含量越来越高,问题也变得越来越严重。降低产量能减少这类问题但并没有杜绝。

流体密度和含水量测井有助于确定水进入井筒的位置。PSGT 和 TMD 测井也能用于这一方面,并也有助于确定水突破前水—油界面当时的位置。试井用于监测底水的侵入,油藏监测帮助监测锥进的地层。更详细地预测潜在的锥进状态的计算可用合适的油藏模拟器进行。进行粗略计算可用已有的简化计算式。

(2) 高渗透通道

高渗透的薄层可使驱替烃类的流体提前突破,绕过留在未波及的较低渗透层的潜在产量(图 A—4)。当驱替流体波及高渗透层段时,顶替流体的渗透率变得更高,并在整个项目实施过程中引起水—油比或气—油比的增高。

水流通道的监测可采用示踪技术、干扰和脉冲试验、油田的油藏模拟、油藏描述和油藏监测。示踪技术和干扰或脉冲试验核查井间连通状况有助于确定通道的流量。油藏描述和监测技术跟踪流体的运动,能检查在不同的油层中流体的位置。油藏描述的资料可以准确地模拟所涉及的地层,从而可用油藏模拟准确地模拟流体的运动。有用的资料的辅助来源还包括取心和各单层的、不稳定压力试井,以确定层间渗透率的变化。

(3) 指进

不适宜的流度比(大于 1)可使更多的可动驱替流体(或一次采油或提高采收率过程中)绕过大量的油形成指进。一旦发生突破,由于驱替流体直接从注入源连续流向生产井,增加的产油量将很少。

假如指进是一个潜在的问题,那么油藏的资料和从流体和岩心所得出的驱替流体的流度的资料将是最重要的确定参数。油藏模拟或理想系统的可能的资料通常告诉我们,当不存在指进时预期的波及效率的范围。油藏监测用以确定油藏中流体界面的位置,从而说明是否正发生指进。

(4) 压裂裂缝穿透油层

一个不合理的增产措施的设计或施工可以造成水力裂缝进入水层或气层。假如增产措施在采油井进行,穿透油层的裂缝引起水或气的早期突破。如果压裂措施在注水井进行,那么,裂缝可以将注水井段与水层或其它渗透层相连接,能使注入水射向水层而使对油层的波及获益很少。

温度测井、示踪测试和详细地查阅压裂施工的资料有助于问题的决定。

压裂前通常进行微型压裂、长间距声波测井,这有助于确定是否存在足以控制裂缝高度增长的垂向应力差异。

(5) 注水井和采油井间裂缝的连通情况

天然裂缝系统可造成注水井和采油井间直接连通,从而使注入流体穿过这些高渗透通道,在岩石基质中绕过烃类(图 A—6)。

即使横穿两口井的天然裂缝不直接联通,但流体可以优先进入一个裂缝,直到它极接近

另一个裂缝或井筒处，通过或波及到基质的仅是一小部分。

天然裂缝做为液流通道可以用氯化物含量对比法和示踪剂测井法来确定。油藏描述应当指示其不连续的位置，油藏监测应检查流体穿过裂缝系统的流动。压力恢复或压降曲线以及干扰试井资料的综合分析可以估测基质和天然裂缝系统的性质。

定向极差的水力压裂裂缝也能造成使注入流体绕过大多数油气生产的通道。虽然，人工裂缝很少是连接两口井的，但是一个水力压裂的裂缝仍然造成了高导流能力的通道，使油藏中多数的流体被绕过。最佳的裂缝方位和提高采收率作业的可能性，应在油藏开发初期加以考虑。

有各式各样的方法，如微裂缝分析和滞弹性应变开采等确定预期的裂缝延伸方向。假如任一水力压裂裂缝的长度和方位为已知，可用油藏模拟来模拟通过系统的液流确定预期的波及效率。

(6) 注水井和采油井间连通不足

如果油或气的产量不能与注水相适应，其问题可能是注水井和采油井间连通不足。一个天然的隔层如密闭的断层可以把井分隔开，或者射开了不同的层段。干扰试验和脉冲试验可帮助确定是否有井间连通。油藏描述揭示出是否存在主要的非均质，如断层的存在。

四、未波及现象

这节给出导致波及问题的某些现象的较详细的知识，并对减轻这些问题的方法进行了讨论。

1. 流体进入套管和地层环空（管外串槽）

有好几种涉及气体或液体流入环空的因素，为防止流体的流入，首先要采用合适的替置工艺。不采用恰当的替置工艺，将导致水泥套管固结差，且在环空中形成窜槽，下面总结了影响替置效果的因素。

改善钻井液：循环泥浆直至得到最大可循环井眼，然后通过控制滤饼的积聚来增加钻井液的流量。在垂直井眼中，这就等于降低了冻胶的强度和粘度，在斜井眼中，改善钻井液以阻止固体动力沉降到井眼的一侧。

管柱运动：旋转套管或使套管往复运动，可以作为有控制地恢复冻胶强度的机械方法。管柱运动能消除固相沉降的通道。

管柱扶正：利用扶正器来扶正杆柱以及平衡环空中的力，这样可以使均质流体在套管中流动。在斜井眼中，最好至少有 70% 的井段进行扶正。

替置流体的速度：在保持井控的情况下，以尽可能最大的速度从环空中替置流体，当水泥浆处于胶态状时，不能维持过平衡压力，就可让气体渗透形成气窜通道，导致气体通过未凝固的水泥柱发生气体流入或流体移动。一旦水泥浆注入后，便开始逐渐形成静态胶凝强度。胶凝强度的形成阻止了水泥浆传递静水压力的能力，并且当其水合滤失体积降低的综合作用下，就使气体运移。已对水泥水合的初期阶段控制气体运移作过全面的研究，并且已研制出几种方法来帮助控制气体的运移。这些方法包括，显示控制流体漏失系统，改进静态胶凝强度的形成显示系统和可压缩系统。

水泥已经凝固后，也可能发生气体流入。这种气体运移的形式，被称作“长期的”，认为