

油田区块整体堵水调剖技术论文集

油田区块整体堵水调剖技术论文集编委会 著

(京)

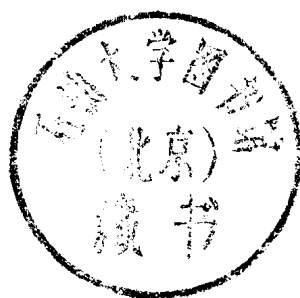
53

石油工业出版社

登录号	085441
分类号	T538-13
种次号	501

油田区块整体堵水调剖技术论文集

油田区块整体堵水调剖技术论文集编委会 著



石油工业出版社

(京)新登字 082 号

内 容 提 要

本论文集汇编了国内各主要油田近几年来在油田区块整体堵水调剖技术的实例,论述了技术的新发展。从油藏描述、调剖剂性能、工艺技术、参数优化和各项技术在油田所见到的明显效果等方面,总结了已经取得的成功经验。

本书对油田现场和科研院校从事油藏地质、工艺技术及油田化学等专业的技术人员来说,是一本极为有用的参考书。

DP47/18

图书在版编目 (CIP) 数据

油田区块整体堵水调剖技术论文集/油田区块整体堵水调剖技术论文集著。—北京:石油工业出版社,1994.4

ISBN 7-5021-1178-6

I. 油… II. 油… III. 油田-堵水-文集 IV. TE34-53

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里 2 区 1 号楼)

物探局制图印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开 17 1/2 印张 437 千字 印 1—3000

1994 年 4 月北京第 1 版 1994 年 4 月北京第 1 次印刷

定价: 15.00 元

油田区块整体堵水调剖技术论文集

编委会成员

主 任：曾宪义

副 主 任：罗英俊 万仁溥 刘翔鹤 孙 平

编 委：胡博仲 宋万超 纪树培 潘国潮 吴 奇 王仲茂
李康中 秦荣章 李宇乡 于连成 张卫国

主 编：刘翔鹤

联 络 员：唐孝芬

责任编辑：张卫国 贾 迎

前 言

在我国各注水开发的油田相继进入了高含水开发阶段的时刻，发行这一文集对进一步搞好控水稳油，提高注水开发油田的采收率具有现实的指导意义。

本书所选用的二十一篇文章是由各有关油田院校根据油田实际经验编写的。做到了文章内容与油田开发的实际情况相结合，油藏工程和采油工程相结合，科研院校与油田现场相结合，并且突出了经济效益，对指导当前的油田开发和科研工作将发挥有益的作用。

文集中论述了有关新技术、新方法、新工艺和新型化学剂，可为油田提供有用的参考。

中国石油天然气总公司科技发展局：曾宪义
开发生产局：罗英俊

目 录

油田区块整体堵水、调剖技术.....	(1)
喇嘛甸油田区块堵水调剖综合治理技术研究	(14)
大庆油田南二三区东块整体堵水调剖试验	(27)
胜坨油田二区沙二 3 整体封堵大孔道控水稳油技术	(37)
埕东油田西区南块 Ng_3 层封堵大孔道技术	(57)
辽河锦 16 块以调剖堵水为主的区块综合治理.....	(74)
辽河曙 2- 6- 6 断块注水井调剖综合评价.....	(85)
濮城油田东区 S 二上 ²⁺³ 以调剖堵水为中心的区块综合治理技术	(105)
胡状油田胡十二块以调剖堵水为中心的综合治理研究.....	(118)
克拉玛依六中区区块调剖技术的应用及效果分析.....	(133)
“大港油田港东区调剖堵水区块治理”的实践与效果	(144)
羊三木油田三断块馆二油组控水稳油技术研究.....	(159)
大港油田板 9、板 828 块控水稳油工作	(168)
吉林扶余油田东一区调整两个剖面、改善开发效果的试验研究.....	(179)
注水井化学调剖技术在扶余油田西区的应用.....	(195)
任邱雾迷山组油藏高含水开发后期封堵大孔道技术.....	(209)
华北油田低渗透砂岩油田区块调剖技术.....	(218)
江汉王场油田潜三段北断块区块大剂量调剖治理技术.....	(226)
河南双河油田 VII 油组上层系整体调剖控水稳油技术.....	(235)
老君庙 M 油藏封、堵、调工艺技术	(242)
柳 25 断块以堵水为主的整体治理研究与探讨	(254)

油田区块整体堵水、调剖技术

刘翔鹤 北京石油勘探开发科学研究院

摘 要

本文综合论述了我国九十年代以来,在单井堵水,调剖技术的基础上发展起来的区块整体堵水、调剖技术。概略地说明了所采用的化学剂,工艺技术,论述了措施前后的开发动态,分析了经济效益,用典型区块实例进行了剖析。对今后的技术工作阐述了方向。

一、高含水油田区块整体堵水、调剖技术的发展与配套

根据对全国 231 个油田开发动态的统计和分析。清楚地看出开发动态的几个特点,即:

- (1) 油田综合含水明显上升,1992 年综合含水率已达 79.3%;
- (2) 高含水油田逐年增加,含水 60% 以上的油田 1992 年底已占总数的 92.05%;
- (3) 采出 1t 原油所需产液量逐年增加,1992 年已达 4.893m^3 。相应地造成原油成本逐年上升。

(4) 油气生产用电单耗也逐年上升,以大庆为例 1989 年为 $102.9\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$,1991 年为 $116.4\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$,1992 年为 $124.5\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$ 。

为解决以上问题,在各油田,院校的努力下,在原有的油田堵水,调剖,封堵大孔道的单井作业的基础上,发展形成了区块整体堵水,调剖技术,经近几年的发展和应用,逐步形成了包括六个方面的配套技术,即:

- (1) 高含水油藏的油藏描述技术
- (2) 堵水、调剖、封堵大孔道的数值模拟技术
- (3) 示踪剂注入和解释技术
- (4) 优化施工设计技术
- (5) 施工工艺技术
- (6) 注入设备和流程

几年来,各油田相继进行了一批区块整体堵水调剖作业,取得了明显的经济效益,降低了油田区块的综合含水上升速度,提高了区块的采油量和阶段采出程度,改善了整个区块的注水开发效果,降低了成本。

二、区块整体堵水、调剖技术的效果和区块实例分析

根据实践的结果,高含水油田区块进行整体堵水调剖后可以明显地改善注水开发效果,主要表现在下列方面。

- (1) 油田区块的综合含水上升速度减缓,产量递减速度下降或转为产量递增;
- (2) 油田区块的水驱特征曲线斜率变缓,说明注水波及体积增大,驱替效率得到改善;

(3) 油田区块的可采储量动用程度增加;

(4) 同一含水情况下的采出程度有所增加, 注水开发的同一阶段的采收率有所增加。

下面列举几个典型区块实例

1. 胜利石油管理局胜坨油田二区沙二₃层

该区含油面积 10.7km², 地质储量 1079×10⁴t, 措施主要内容为用粘土双液法封堵沙二₃层底部大孔道, 共堵 12 口井。措施后, 区块含水率下降, 区块日产油量上升。见采油曲线图, 图 1。

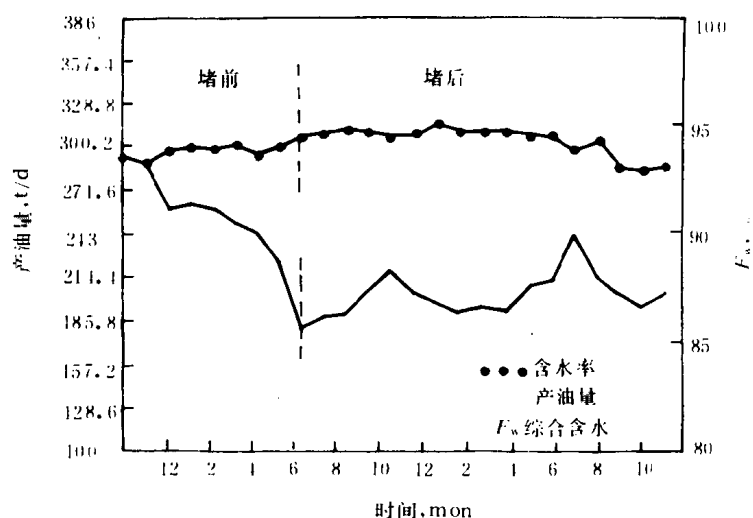


图 1 胜坨二区沙二₃封堵大孔道前后采油曲线图

堵后区块的水驱特征曲线斜率变缓, 说明提高了注入水的利用率, 提高了注水波及体积和驱替效率, 见沙二₃水驱曲线图 (图 2)。

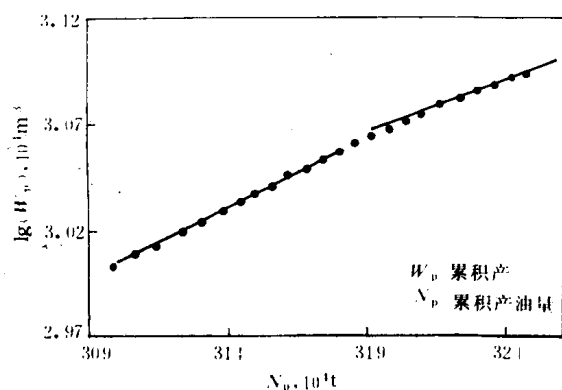


图 2 沙二₃区封堵大孔道前后水驱特征曲线图

胜坨油田二区沙二₃层整体堵水调剖后获得明显的经济效益。全区块共处理注水井 12 口, 共用粘土双液堵剂 20788m³, 实际投入费用 115.4 万元。共增产原油 38849 吨, 减少注水量 22×10⁴m³。增产原油按 700 元/t 计算, 实际产出 1455.2×10⁴t。投入产出比为 1:12.5, 扣除原油成本 350 元/t 后, 投入产出比为 1:6.25。

2. 中原濮城油田东区 S₂₊₃层

该区块含油面积 3.53km², 地质储量

607.67×10⁴t。共有油井 34 口, 注水井 27 口。措施的主要内容以堵水、调剖为主的综合治理, 其中注水井调剖 13 井次, 油井堵水 6 井次, 油井补孔 3 井次, 水井补孔 1 井次, 转注 2 井次。措施后的主要效果为:

(1) 改善了注水井的吸水剖面, 调剖 13 口井中有 12 口井吸水剖面得到改善;

(2) 综合含水上升速度得到控制, 1991 年 12 月为 4.24%, 1992.10 降为 0.36%。而区块的综合含水为 77.61%和 78.01%。

(3) 区块的日产油量明显上升, 91.12 为 195t/d, 92.10 升为 239t/d。

(4) 区块的水驱动用储量提高由 $395.57 \times 10^4 \text{t}$ 上升为 $418.66 \times 10^4 \text{t}$ 。

(5) 区块可采储量增加, 由 $216.37 \times 10^4 \text{t}$, 增加为 $227.37 \times 10^4 \text{t}$ 。

(6) 预测的水驱采收率由 35.61%, 提高到 37.48%。

(7) 区块年综合递减率下降, 由 29.9% 下降为 9.9%。

综合治理后取得明显的经济效益, 区块累计增产原油 10258t, 减产水量 $8.65 \times 10^4 \text{m}^3$ 。初步计算投入产出比为 1:11, 扣除原油成本后约为 1:5 左右。

3. 河南双河油田核桃园Ⅶ上区块

含油面积 13.05km^2 。地质储量 $808.6 \times 10^4 \text{t}$, 其中调剖层 V_{12} , V_{13} 层地质储量 $715.1 \times 10^4 \text{t}$, 1977 年 12 月投入开发, 1986 年底共有油井 20 口, 注水井 6 口, 观察井 5 口, 区块日产油 496t, 日产水 691m^3 , 综合含水 58.2%, 累积采出程度 23.61%。

措施内容: 用 TP—910 进行区块整体调剖。1987.5 选双 8—11, 双 8—15, 双 5—907 等三口注水井调剖, 对应油井调参, 换泵等综合措施。

效果表现为下列几项

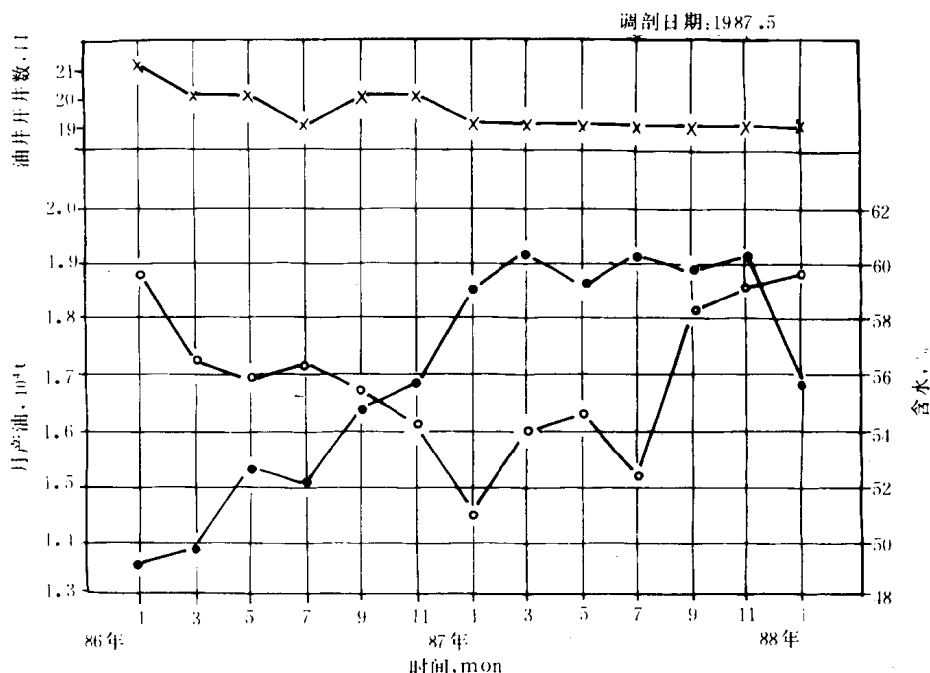


图 3 双河油田Ⅶ上采油曲线

(1) 增油降水: 1987 年 5 月~1988 年 1 月增油 15828t, 减产水 8430m^3 。区块采油曲线见图 3。

(2) 月平均含水上率由 0.75% 降为 0.12%;

(3) 水驱特征曲线斜率变缓, 说明扩大了可采储量由 675×10^4 吨上升为 971×10^4 吨。

4. 克拉玛依二西—1 区油田克_下组

含油面积 8.91km^2 , 地质储量 $912 \times 10^4 \text{t}$, 1970 年以面积注水井网投入开发, 1988 年止累计注水 $810.3 \times 10^4 \text{m}^3$, 累计采油 $241.3 \times 10^4 \text{t}$, 采出程度为 26.45%, 区块综合含水 79.2%。1985~1989 年用三相泡沫对注水井吸水剖面进行调整, 共施工 56 井次成功率 82%, 相应地对 49 口油井进行了对应堵水, 取得了明显的效果, 区块的开发形势得到了很大的改善, 主要表现为:

(1) 区块综合含水由 79.2% 下降为 75.5%，稳定在 78% 以下，控制了含水上升速度，其中 1986 年为 75.9%，1987 年 76%，1988 年 78.1%。

(2) 区块年产油量稳定或递减缓慢，1985 年产油 $5.53 \times 10^4 \text{t}$ ，1986 年为 $5.25 \times 10^4 \text{t}$ ，1987 年为 $5.19 \times 10^4 \text{t}$ ，1988 年为 $4.9 \times 10^4 \text{t}$ 。自然递减率也趋于下降，1985 年以前为 13.6%，1988 年为 2%。

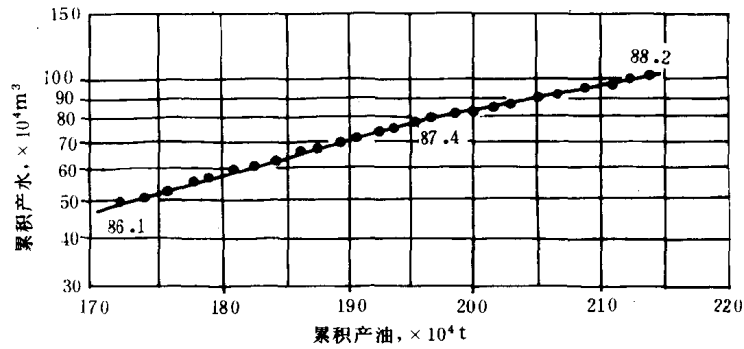


图 4 VII_上水驱特征曲线

(3) 该区的水驱特征曲线发生明显变缓现象，说明水驱储量增大，可采储量增大，经测算，水驱储量增加 $165 \times 10^4 \text{t}$ ，可采储量增加 $37 \times 10^4 \text{t}$ 。同一阶段采收率将有所提高。见图 5。

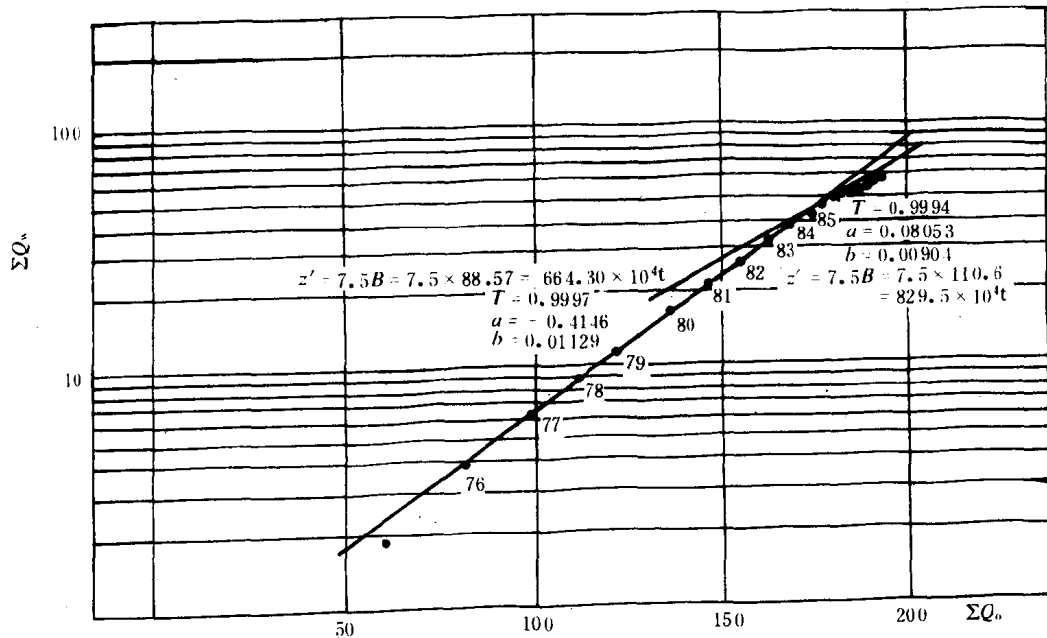


图 5 二西₁克下组水驱特征曲线

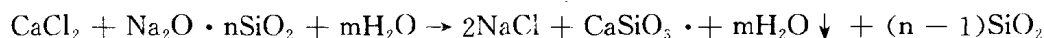
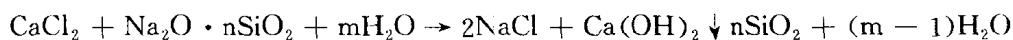
三、区块堵水调剖用各种化学剂及其作用机理

1. 沉淀型无机盐类堵水化学剂

常用于油田的有双液法水玻璃氯化钙堵水技术，即用清水或油做隔离液将水玻璃，隔离液和氯化钙依次注入地层。随着注入液往外推移，隔离液所形成的隔离环厚度越来越小，直

至失去隔离作用，而使两种液体相遇而产生沉淀物，达到堵水的目的。

主要反应如下：



基本配方：

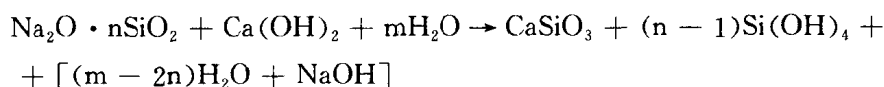
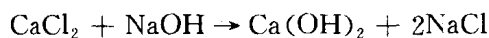
A 液：20%水玻璃+0.3HPAM

B 液：10%~15%氯化钙

A 液：B 液=1：1（体积比）

水玻璃的模数 $m=3.2$

单液法水玻璃氯化钙堵水技术：在地面即将两种注水液体即水玻璃和氯化钙配成一种液体向油层注入，但为了减缓反应速度实现单液法注入，先使氯化钙与碱反应变为氢氧化钙，然后再与水玻璃缓慢作用，形成沉淀，其凝胶时间可达 $0.5 \times 3\text{h}$ ，便于施工注入，主要反应式如下：

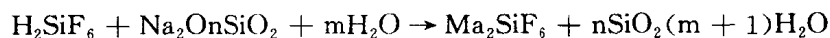


生成物为凝胶状弹性固体，可有效地封堵出水层。

典型配方：

水玻璃模数为 2~3，有效含量为 5~20%。氯化钙（工业品），氢氧化钠（工业品），其余为水，各组分用量比为水玻璃：氯化钙：氢氧化钠：水=1：0.06：0.04：0.5。

除以上两种外，尚有氟硅酸—水玻璃堵水技术。其主要化学反应原理为氟硅酸和水玻璃两种液体混合后经化学反应生成 Na_2SiF_6 弹性凝胶体，粘度高，强度大，可有效地封堵出水孔道。主要化学反应式如下：



典型配方

氟硅酸（甲液）有效含量为 10%，水玻璃（乙液）模数 3.3~3.5，有效含量为 5~12%，甲乙液用量比为（0.5~1.2）：1。另加杀菌剂甲醛（37%）2%。

其它还有水玻璃亚硫酸铁调剖技术和水玻璃—氯化镁调剖技术，分别产生 $\text{FeSiO}_3 \downarrow$ 和 $\text{MgSiO}_3 \downarrow$ 沉淀。

2. 聚合物冻胶型堵水，调剖化学剂

该类化学剂包括聚丙烯酰胺，聚丙烯腈，木质素磺酸盐和生物聚合物黄原胶与各种交联剂反应所形成的冻胶。它的作用机理主要是聚合物冻胶对出水或吸水高渗透层或大孔道形成物理堵塞作用。聚合物链上的反应基团与交联剂作用后形成网状结构，呈粘弹性的冻胶体，在孔隙介质中形成物理堵塞，阻碍水流通过；未被交联的分子及其极性基团，可卷缩在孔道中或称为孔隙空间捕集，也具有阻碍水流动的作用。同时分子链上的极性基团与岩石表面相吸附，提高了堵水效果。

举例说明如注水井调剖剂 TP—910。

其基本配方为：

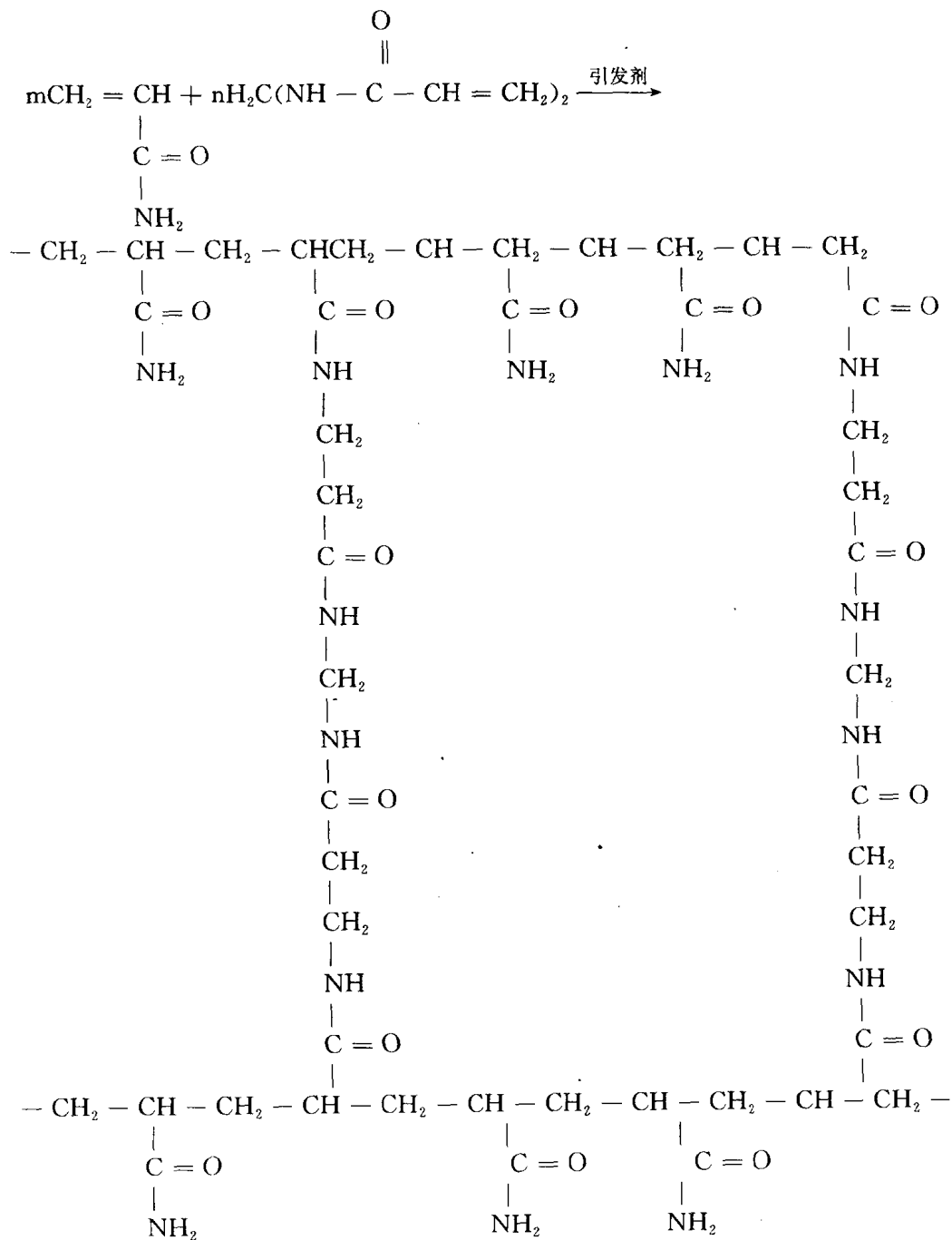
AM

4~6%

NH—甲撑基双丙烯酰胺	0.02~0.04%
引发剂	0.008~0.02%
缓聚剂	0~0.005%
缓冲剂	0~0.06%

其反应原理为：

单体 AM、引发剂、交联剂及其他控制添加剂存在下，在地层温度作用下就地进行交联聚合反应产物粘度高、强度大有体膨性，可堵塞大孔道，且对注入水有增粘作用，可改变水的流度比，改善驱油作用，反应示意式如下：



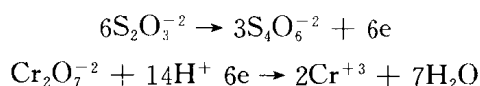
油井堵水化学剂聚丙烯酰胺铬冻胶 HPAM/Cr⁺⁺⁺, 其主要配方为:

HPAM: 0.4~0.8% MW300~500 万
DH5~20%
重铬酸钠 1%
硫代硫酸钠 5%

反应原理为:

反应所用的 Cr⁺⁺⁺ 为新生成的 Cr⁺⁺⁺

由下列反应得到:

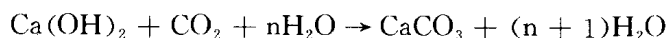


Cr⁺⁺⁺ 再与 PAM 分子中的酰胺基反应发生交联作用使之形成网状结构的凝胶体。

3. 颗粒型物理堵塞类调剖剂

其作用原理也是物理堵塞作用, 常用的有果壳、青石粉、石灰乳、膨润土, 轻度交联的聚丙烯酰胺、聚乙烯醇粉等。其中搬土具有轻度体膨性, 聚丙烯酰胺和聚乙烯醇在岩石孔隙中吸水膨胀性好, 可增加封堵效果。

举例说明如石灰乳复合堵剂, 其化学反应原理为石灰粉与水结合后迅速反应, 生成产物为 Ca(OH)₂ 胶体粒子的凝聚结构。在地层水中 CO₂ 的作用下, 可继续发生如下反应:



配方中加入水泥后, 水硬性胶结材料和碳酸钙一起, 进一步增强石灰浆的凝聚结构并使之成为凝固体。有很大强度的凝固体对地层大孔道产生堵塞能力。

典型配方:

石灰粒度为 40~150μm, 含量为 28%, 在 120℃ 时油井水泥含量为 13%, 膨润土含量为 3%, 石棉含量为 2.5%。蛭石含量为 2.2%。TZ-1 降失水剂含量为 0.5%, 其余为水。

钠土双液法堵剂^①

其封堵机理

(1) 颗粒物理堵塞, 当粘土颗粒大于 1/3 地层孔径时在孔隙喉道可产生物理堵塞, 减少水流通量。

(2) 部分水解的聚丙烯酰胺的亲水基团与钠土颗粒表面的羟基形成絮凝体, 封堵大孔道, 称絮凝堵塞。

(3) 吸附作用 HPAH 通过氢键作用与粘土表面产生吸附粘膜, 如多次处理则粘膜增厚可明显降低大孔道的渗透性。

现场应用的配方为:

A 液: 5%~7% 钠土, 隔离液水 (2~6m³)

B 液: 0.06~0.1% HPAM

可用双液法多次处理, 最后挤注 50~100m³ C 堵剂封口。

4. 泡沫类堵水、调剖化学剂

根据成份的不同可分为二相或三相泡沫。其主要配方为^②

① 资料来源: “胜坨油田二区沙二 3 整体堵堵大孔道控水稳油技术。”

② 资料来源: “三相泡沫调剖技术及应用。”

空气和水组成。其中氯化钙含量 2%，水：水泥=0.5~0.6，发泡剂为干水泥用量的 0.5~1.0%，水：发泡剂=100：1。克拉玛依油田利用 ABS 为起泡剂，CMC 为稳定剂加膨润土形成三相泡沫。三相组份混合后，产生稳定的泡沫流体在注水层中迭加的气液阻效应—贾敏效应，改变吸水剖面。如用干水泥则反应后生成水泥石，泡沫水泥浆在高含水饱和带硬化封堵水大孔道或高渗吸水层段。

油田上曾用做永久性堵水剂，主要有脲醛树脂、酚醛树脂、环氧树脂糠醇树脂、热缩性树脂等。

其主要作用原理是各组份经化学反应形成树脂类堵塞物,在地层条件下固化不溶造成对出水层的永久性封堵。

化学反应分两步进行，先将苯酚与甲醛在酸性或碱性条件下制备一羟甲基酚和多羟甲基酚混合物。以该混合物为原料在酸性条件下和硬化催化剂存在下进一步聚合成热固性树脂。

[illegible]

水溶性羟甲基酚含量为 50—70%，硬化催化剂氯化铵（工业品），草酸或盐酸。

羟甲基酚：草酸=1：0.06（质量）

羟甲基酚：氯化铵：盐酸（20%）=1：0.025：0.025

如阳离子表面活性剂,其带正电荷部分与岩石表面相吸附使其亲油端朝外,即使岩石表面覆盖着一层亲油的烃基层,从而增加油相渗透率,减少了水相渗透率,具有堵水作用。

8

四、区块整体堵水调剖的配套技术

根据不同类型油藏的特点,经过多个油田的实践,初步总结了保证成功的六项配套技术即:

1. 高含水油藏的油藏描述技术

根据测井和地震的资料,综合分析,对油藏进行静态描述进一步搞清层系划分,油藏剖面,油层物理参数和井间连通情况,构造形态等。同时对油田开发的动态进行历史性分析,进行油藏动态描述,进一步搞清分层采出程度,地下流体饱和度,对地下高渗层和大孔道进行描述等。

2. 油田堵水、调剖,封道大孔道的数值模拟技术

利用黑油模型对油田开发动态进行历史拟合,然后对开发前景进行预测。研究堵水,调剖措施对油田区块采收率的影响,对地下流体分布状况进行宏观描述。

编制和应用二维和三维调剖数值模拟软件对堵水调剖的全过程进行模拟。目前所用的数模软件尚不能全面反映不同化学剂的地下反应过程,因此正在研制真三维,堵水调剖的数模软件。

3. 示踪剂注入和解释技术

首先应根据油藏的特点选用与地下流体配伍性能好,地层内滞留量小,化学性能稳定,使用浓度低而又无毒无害,且货源广成本低的化学剂做为注入的示踪剂。采用的示踪剂有硫氰酸胺,硝酸钠,溴化钾、氡水,萤光素,甲醛,苯酚等多种。目前常用的有硫氰酸铵,硝酸钠,溴化钾等。示踪剂配成水溶液,用接近注水压力的压力值用泵或水泥车注入注水井中,然后对周围油井进行取样监测,做出示踪剂产出曲线。注入示踪剂的用量可用下式求出

$$G = 16SV$$

式中 V ——段塞部分地层的孔隙体积, m^3 ;

S ——示踪剂检出的最低浓度, g/m^3 。

或用 Brigham smith 公式

$$G = 1.44 \times 10^{-2} h \cdot \Phi \cdot S_w \cdot C_p \quad 0.265 < 1.735$$

式中 Φ ——地层孔隙度, %;

S_w ——含水饱和度, %

h ——处理层段厚度, m;

C_p ——从油井中采出的示踪剂的峰值, mg/L ;

L ——井距, m;

a ——分离常数 (0.0153)。

根据示踪剂产出曲线和峰值的变化可以跟踪注入水的地下流向,根据产出时间可以判断注入水在某个方向上推进速度。用曲线经计算和历史拟合可求出出水层和强水淹层的厚度,渗透率和最大孔道的半径。

4. 优化施工设计技术

应该应用三维堵水调剖数值模拟软件计算出多种处理方案,从中优选,并考虑经济效益。目前三维软件尚未完成,暂时优化设计采用下列方法:

(1) 用黑油模型,模拟油藏情况用正交设计方法计算出多种处理量和采收率,增油量,含

水率变化的关系曲线，做出多个方案进行优选，但这种方法本身不能系统考虑不同化学剂的地下作用机理，因此本身尚不完善。

(2) 关于处理半径的确定，目前一般尚是根据经验确定，根据所使用堵剂的特性确定其封堵半径的大小。如美国道威尔公司。在注水井上不同的堵剂有不同的封堵半径，一般 50~100 英尺，通用 60 英尺。用于堵大孔道时仅计算大孔道的体积，其最小处理半径为 250 英尺，而美国哈里伯顿公司用 K-TROL 处理注水井时，封堵半径为 250 英尺，也是仅计算通道的体积。

我国国内处理半径的选择也大同小异，如华北碳酸盐岩油藏堵水用聚丙烯酰胺类堵剂其处理半径 2.5~4m。胜利用甲醛交联聚丙烯酰胺堵水其封堵半径为 3~8m。大港羊三木油田三断块馆二组处理半径 7~8m。辽河锦 16 块用 TP-910 处理注水井，处理半径 0.5~3m，油井堵水，处理半径 1.5~4m 等。

而石灰乳封堵大孔道，根据华北任邱油田 8 口井的计算结果，其封堵半径按球面径向流计算为 26~17m，平均 42m，按平面径向流计算为 30~104m，平均 62m。胜利油田近两年来用钠土双液法封堵大孔道，用量达 1000~3000 方，处理半径大幅度增大，形成深部封堵工艺。

国外介绍的处理半径的确定方法，根据 H. W. Wang (P. E. 1985. 4) 的文章介绍，处理半径用下列公式求得

$$r_a = \exp \frac{[\ln r_e (f_q - 1)] + [(\ln r_w)(RRF - f_c)]}{RRF - 1}$$

式中 r_a ——处理半径，ft；

r_e ——注水井注水影响半径或采油井泄油半径，ft；

f_q ——处理前后注水能力（或产率）之比。

$$f_q = \frac{\frac{q}{\Delta P_{pr}}}{\frac{q}{\Delta P_{pos}}} = \frac{\lambda}{\lambda_{avg}}$$

式中 q ——日注入量或日产液量，bbl/d；

ΔP_{pr} 、 ΔP_{pos} ——处理前后的开采（注水）压差，psi；

λ ——流体的流动度， $(\frac{K}{\mu})$ mD/cP；

K ——不处理带的水的有效渗透率，mD；

μ ——水的粘度，cP。

$$\lambda_{avg} = \frac{\ln(\frac{r_e}{r_w})}{\frac{1}{\lambda_a} \ln(\frac{r_a}{r_w}) + \frac{1}{\lambda} \ln(\frac{r_e}{r_a})}$$

式中 r_w ——井眼半径，ft；

RRF ——剩余阻力系数 = $\frac{\lambda_k(\text{处理前})}{\lambda_k(\text{处理后})}$

(3) 堵剂用量的确定，国内一般采用普通的体积算法加以不同的经验系数或不加任何系数，如辽河锦 16 块用 TP-910 处理，用量计算公式为：

$$Q = \pi R^2 h \phi$$

式中 R ——封堵半径，m；

h ——处理井段长度, m;

Φ ——地层有效孔隙度, %。

冀东油田柳—25 断块则用下列公式

$$Q = \pi R^2 h \Phi q_1 q_2$$

式中 R ——封堵半径, m;

h ——处理井段长度, m;

Φ ——地层孔隙度, %

q_1 ——注入前沿稀释堵剂系数, %;

q_2 ——水泥环串槽造成堵剂损失系数, %。

(4) 关于颗粒堵剂的颗粒大小的适用范围, 国内早在六十年代就开始使用颗粒类, 其中包括土类堵剂, 但由于某些原因如油层保护问题等未大量推广。对其颗粒的尺寸也多次进行了试验研究, 大致得出相似的结论。

大庆油田结合悬浮液堵水试验曾提出当颗粒直径小于岩石孔道直径的 $1/2$ 时, 颗粒可以进入孔道形成堵塞。石油大学和胜利采油厂结合油田实验所进行的室内试验的结论是当颗粒直径为岩石孔道直径的 $1/3 \sim 1/9$ 时可产生较好的堵塞。总公司研究院采油所注水颗粒对油层的伤害的研究结论为颗粒直径为孔隙直径的 $1/3 \sim 1/7$ 时, 对岩石渗透率伤害最严重。而小于孔径 $1/10$ 大于孔径 $1/2$ 时伤害很低, 我们在进行颗粒类堵剂堵水调剖时可以参考以上的研究成果, 以便能取得更满意的成果。

5. 施工工艺技术

根据油藏类型的不同, 采用不同的挤堵方式, 对碳酸盐岩油井堵水时若垂向裂缝发育可以全井笼注入, 否则应下封隔器分层段注入。挤注堵剂要求控制较小的注入压差, 以保证堵剂能大部分有效地进入高出水层段或裂缝段。不宜采用过大的注入压差防止对出油的裂缝段造成伤害。

对砂岩油田油井堵水一般采用低压低排量注入。确保目的层封堵效果好, 而非目的层伤害最小。对多层油井应采用封隔器分层注入。

对注水井调剖关键是要确定合理的注入压力。一般控制注入压力低于或接近于正常的注水压力, 以便使封堵剂沿注水时吸水的高渗透层或大孔道并入油层。对注水井一般不采用下封隔器注入的措施, 主要控制注入压力, 封堵降低高渗透层的吸水能力, 调剖后提高压力使低渗透层或原来不吸水或吸水量达不到配注要求的层段增加吸水量, 以满足油田开发的正常需要。

确定合理注入压力, 也是保证非目的层不受或少受伤害的一种方法, 目前对研究院采油所研究的选择性注入工艺技术的经验公式在部分油田得到推广也取得一定的好效果, 如辽河曙 2—6—6 断块注水井调剖确定注入压力用下列公式

$$P_{\text{注}} = P_i + P_{\text{地}} - P_{\text{柱}}$$

式中 P_i ——注入时注采井间的压力梯度; MPa/m, 根据试验结果选 $0.03 \sim 0.04$ MPa/m;

$P_{\text{注}}$ ——井口注入压力 (挤堵剂), MPa;

$P_{\text{柱}}$ ——井内油层中部液柱压力, MPa;

$P_{\text{地}}$ ——油藏最近的地层压力, MPa;

L ——最小油水井井距。

归结起来对油井堵水和注水井调剖的施工工艺必须注意做好下列几点