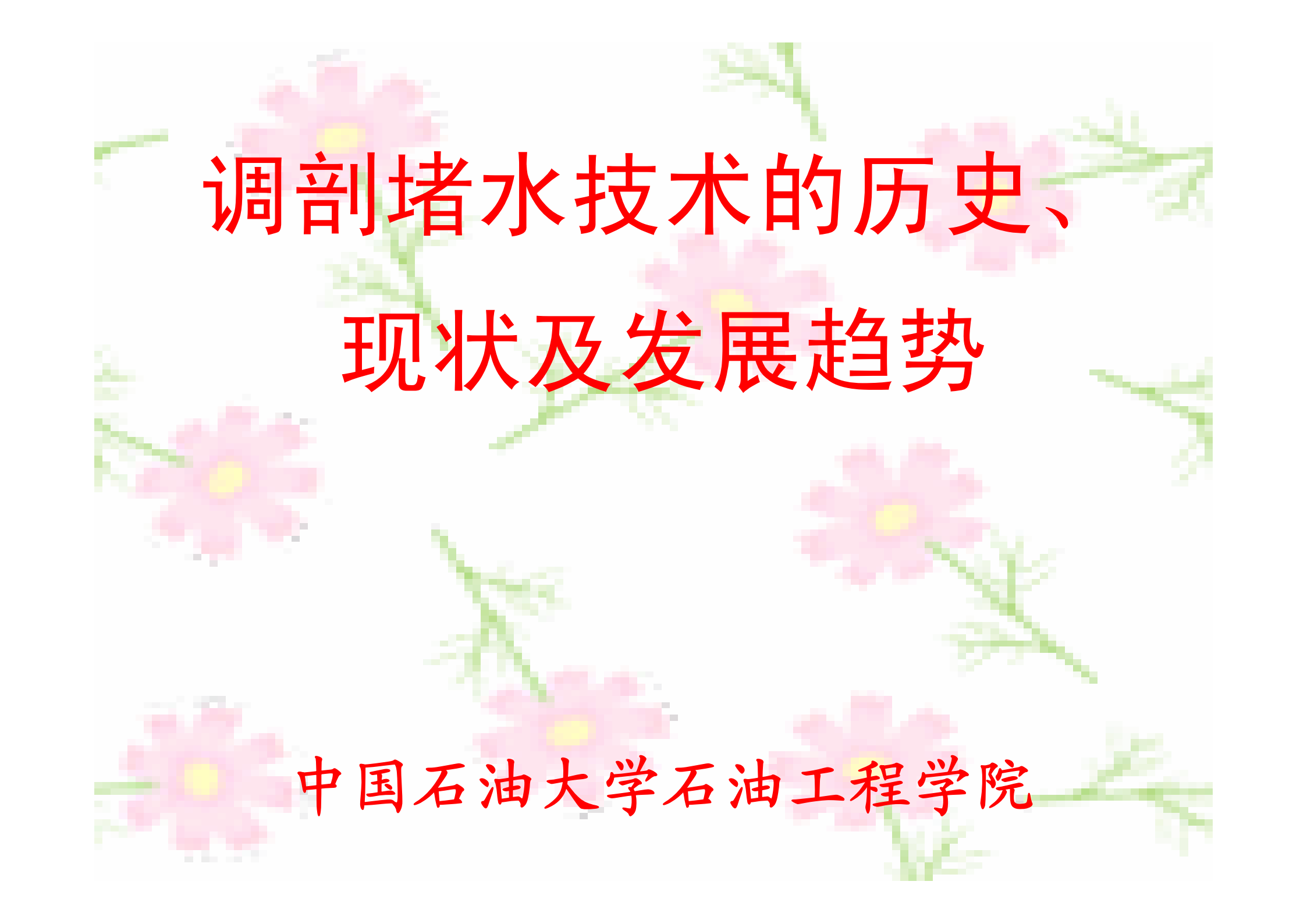




调剖堵水技术的历史、 现状及发展趋势

中国石油大学石油工程学院

主要内容

调剖堵水技术的地位（作用）

调剖堵水技术的发展历史

调剖堵水技术的现状

调剖堵水技术的发展趋势

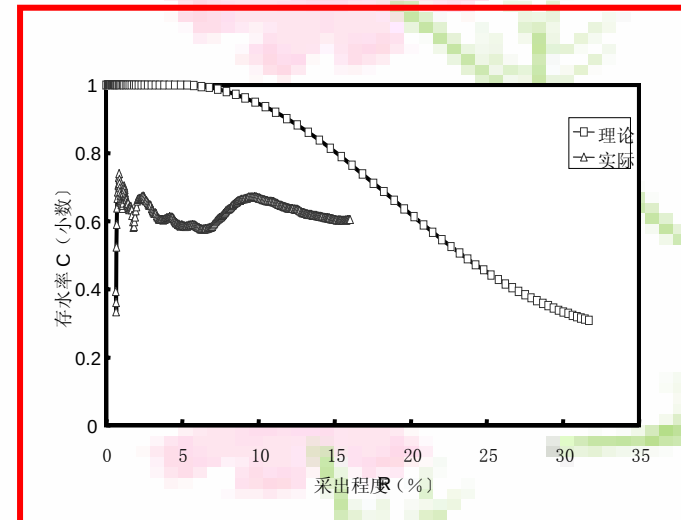
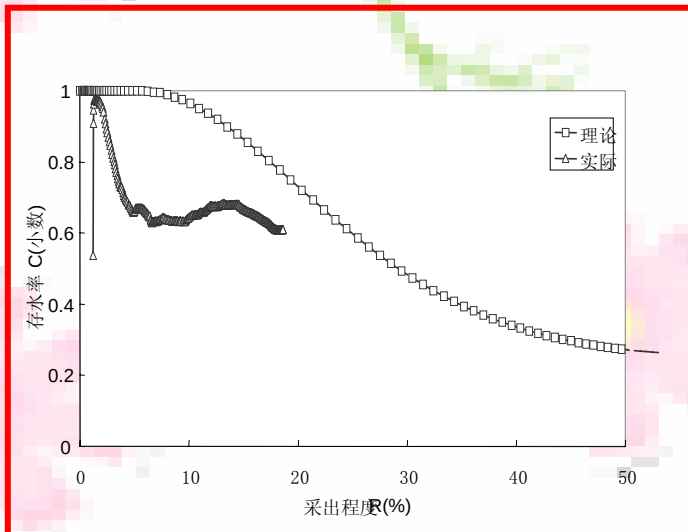
调剖堵水技术的攻关研究内容

调剖堵水技术的攻关研究思路

调剖堵水技术的地位 (作用)

1. 油田开发形势的需要

油田进入中高含水 期开发以后，由于大孔道或高渗透层的存在，无效水循环加剧，地层存水率下降，常规的措施无法解决无效水循环的问题，只有调剖堵水措施通过改变注入水的流向，增加地层存水率，扩大波及体积，从而改善水驱开发效果，达到增油降水进一步提高水驱采收率的目的。



调剖堵水技术的地位（作用）

2. 整体调剖的实践可证明整体调剖的效果

我国整体调剖工作开展10多年来，取得了较快发展，据部分资料统计我国在90年代后期整体调剖的年增油量达到近50万吨，其中胜利油田的年增油量达到30万吨（调剖堵水总增油量超过40万吨），且水驱开发效果明显改善，目前调剖堵水（尤其是整体调剖）措施已是高含水期改善水驱开发效果、提高采收率的最重要的一种先进的二次采油技术。同时随着三次采油过程中出现的问题，调剖措施也在注聚前、注聚后的治理中扮演着重要的角色。

主要内容

调剖堵水技术的地位（作用）

调剖堵水技术的发展历史

调剖堵水技术的现状

1. 我国调剖堵水技术的发展历程
2. 我国调剖堵水工作的组织
3. 我国调剖堵水技术中的堵剂系列
4. 八十年代以来形成的我国调剖堵水技术系列

调剖堵水技术的发展历史

1. 我国调剖堵水技术的发展历程

我国自50年代开始进行堵水技术的探索和研究。玉门老君庙油田自1957年就开始进行封堵水层的工作，1957~1959共堵水66井次成功率61.7%。——以油井的机械卡堵水为主。

七十年代以来，大庆油田在机械堵水、胜利油田在化学堵水方面有较快的发展，其它油田也得到相应的发展。

八十年代初期，进一步提出了注水井调整吸水剖面来改善一个井组、一个区块整体的注水入波及效率的新目标，经过多年的发展，已形成机械和化学堵水调剖两大类堵水调剖技术，主要包括油井堵水技术、注水井调剖技术、油水井对应堵水调剖技术、油田区块整体堵水调剖技术和油藏深部调剖技术。

调剖堵水技术的发展历史

上世纪九十年代以来:

☞研究开发的弱冻胶、可动性冻胶深部调剖和液流转向技术正在发展和应用中。

☞相应地研制成功六大类60多种堵水调剖化学剂。

☞研制了直井、斜井和机械采油井多种机械堵水、调剖管柱。

☞完善了数值模拟技术、堵水调剖筛选技术、测井测试技术、示踪剂注入和解释技术、优化工程设计技术、施工工艺技术和注入设备和流程等七套技术。

☞开展了室内机理研究，进行了微观核磁成像物模的试验研究，使堵水调剖机理的认识深入一步，为进一步发展打下了技术基础。

☞形成了区块整体调剖优化决策技术，大大推动了我国调剖堵水工作的开展。

调剖堵水技术的发展历史

☞ 堵水调剖技术经历:

➤ 油井堵水为主阶段

➤ 注水井调剖为主阶段

➤ 以调堵为主的区块整体综合治理阶段

➤ 目前，以整体调剖、深部液流转向为主阶段，利用预交联凝胶颗粒和弱凝胶的“变形虫”和“蚯蚓虫”的流动和运移机理改变长期水驱形成定势的流线场、压力场分布。

调剖堵水技术的发展历史

2. 我国调剖堵水工作的组织

☞ 成立全国堵水调剖技术协调小组（79年开始）

——及时解决发展中存在的问题，研究讨论了攻关的方向
发展趋势，有力地推动了全国各类油田堵水技术的发展。

☞ 目前全国唯一存在的协调小组

分层开采工艺

改造油层工艺

机械采油工艺

热力采油工艺

提高采收率

堵水工艺

开发测井

防砂防蜡工艺

修井

开发井钻井

（79年开始）

调剖堵水技术的发展历史

全国油田堵水会议	召开时间	召开地点	关键议题
第一次	1980.1	石家庄市	油田堵水如何更好地满足油田开发的要求
第二次	1981.12	成都市	提高油井堵水效果研究试验封堵大孔道和油井对应堵水
第三次	1983.6	胜利油田	研究和推广应用以油田区块为单元的整体堵水调剖技术
第四次	1985.11	大连	研究讨论不同类型油藏注水井调剖油井选择性堵水的配套工艺技术
第五次	1987.10	新疆油田	主攻完善发展区块调剖堵水综合治理
第六次	1989.11	江苏昆山	研究讨论油田堵水技术的发展要以注水调剖或油井封堵大孔道为主、化学堵水为辅。
第七次	1992.1	南京	坚持以区块综合治理为主以注水井调剖为主的有效做法
第八次	1994.4	北戴河	落实总公司东部开发会议精神加大堵水调剖力度 深化认识加强机理研究完善优化决策系统
第九次	1997.1	海口市	会议提出要集中组织油田调剖单元的筛选技术配套和完善
第十次	1999.4	广州市	集中研究了可动凝胶深度调剖和液流转向技术

调剖堵水技术的发展历史

3. 我国调剖堵水技术中的堵剂系列

研制了适用于各类油田的七大类近百种化学剂，满足了堵水调剖的需要，从品种和性能上也走在了国际的前列，主要为：

1. 沉淀型。无机盐类堵水调剖化学剂，如双液法水玻璃氯化钙堵水剂，单液法水玻璃氯化钙堵水剂，水玻璃硫酸亚铁等
2. 聚合物冻胶类堵水调剖化学剂。如地下交联聚合物的TP-910调剖剂，PIA系列调剖堵水剂，BD861调剖剂，HPAM-Cr³⁺冻胶堵水剂等。
3. 颗粒类堵水调剖化学剂。如石灰乳，膨润土，轻度交联的聚丙烯酰胺，聚乙烯醇粉，体膨型颗粒堵剂等。
4. 泡沫类堵水调剖化学剂。
5. 树脂类堵水调剖化学剂。曾用作永久性堵水材料，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。
6. 微生物类堵水调剖化学剂。如葡聚糖 β 球菌硫酸盐还原菌等。
7. 其他类堵水调剖化学剂。如氰凝堵水剂、有机硅堵水剂、活性稠油堵水剂等。

调剖堵水技术的发展历史

4. 八十年代以来形成的我国调剖堵水技术系列

①堵水调剖机理研究取得了新认识。包括可视模拟研究、核磁共振模拟研究、化学堵剂流变性、堵塞机理及伤害性能及防治措施研究、体膨颗粒变形虫机理及调驱机理等。

②开展了数值模拟技术研究，编制了二维、三维数模软件。

③发展了示踪剂注入和解释技术研究。

④配套了优化工程设计技术，包括注入压力、注入半径、效果预测等。

⑤完善了施工工艺技术，包括不同油藏油井的注入管柱、配套工艺等。

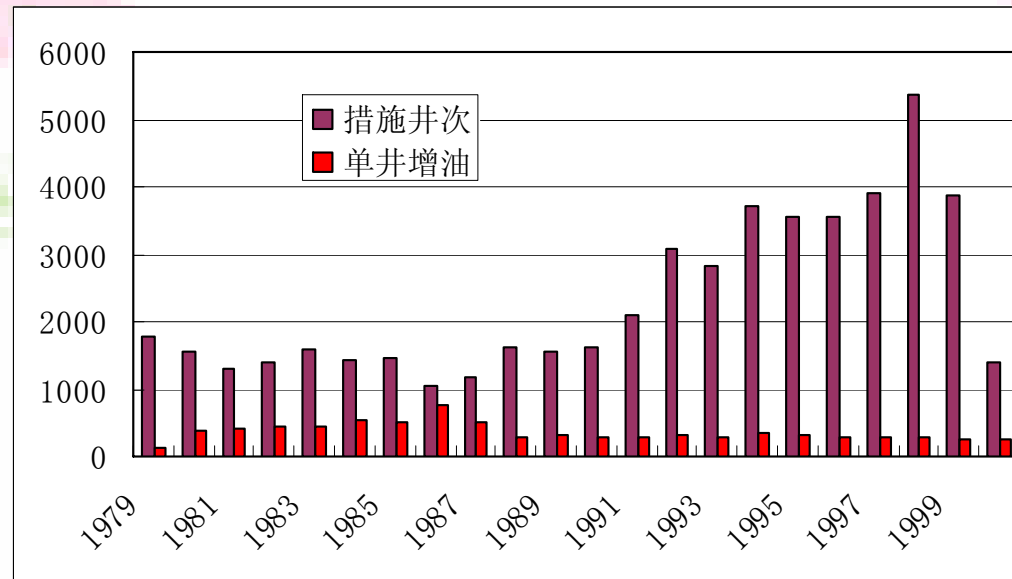
⑥建立了注入设备和流程。

⑦近期又研究开发了弱冻胶和体膨型颗粒深部调剖技术。

⑧研制开发了堵水调剖的优化技术：开发了RE、RS、PI三套技术，投入工业应用。

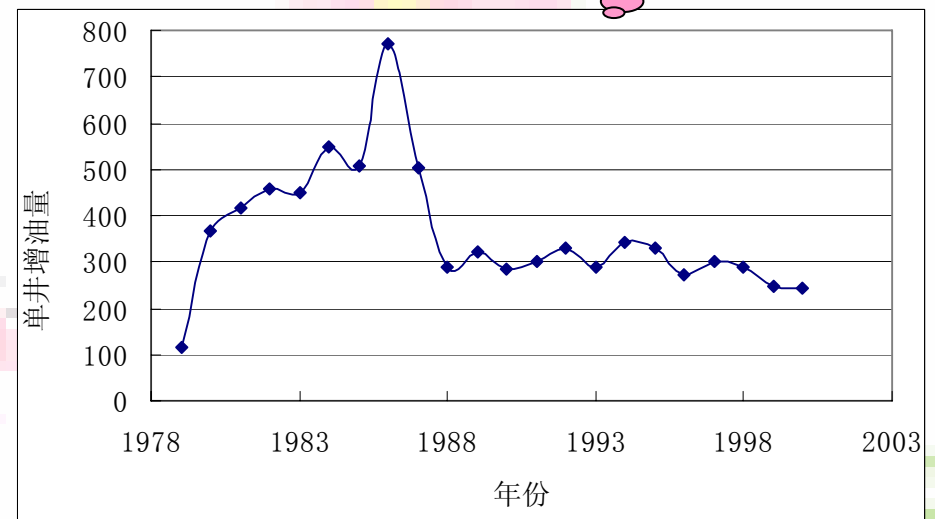
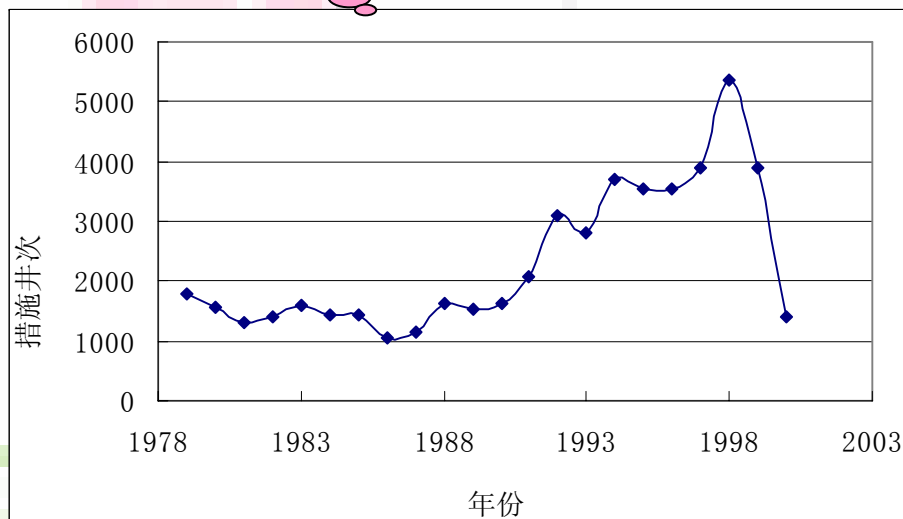
⑨发展完善和提高了机械堵水技术，配套完善了管柱，发展了细分分层注水的整套技术。

调剖堵水技术的发展历史



全国历年
措施井次

全国历年
单井增油



主要内容

调剖堵水技术的地位（作用）

调剖堵水技术的发展历史

调剖堵水技术的现状

调剖堵水技术的主要内容

1. 调剖堵水的物理模拟研究
2. 以调剖堵水为中心的综合治理技术
3. 区块整体调剖的决策技术
4. 液流深部转向技术调驱技术
5. 其他技术要点
6. 我国主要油田调剖堵水的做法

内容
目录

调剖堵水技术的现状

1. 调剖堵水的物理模拟研究

微观物理模拟 { 仿真模型
可视模型(玻璃、有机玻璃等)

渗流所、勘探院、西北大学等

英国帝国理工医学院矿源工程系

美国新墨西哥石油研究中心 等

调剖堵水技术的现状

宏观物理模拟

单管
双管
多管

常压

常温

天然岩心
人造岩心

烧结
填砂、玻璃珠

二维平面
可视模型

高压

高温

大三维物理模拟系统

水平井

低渗透油藏

裂缝油藏

气井

调剖堵水技术的现状

化学调剖堵水物理模拟研究内容

- ☞ 化学剂引起渗透率下降，即封堵率的研究
- ☞ 渗透率及渗透率级差对调剖堵水效果的影响
- ☞ 残余阻力系数的研究
- ☞ 启动压力或注入压力
- ☞ 含水率、产油量、产液量、采出程度（驱油实验）
- ☞ 化学剂组分配比（配方实验）
- ☞ 化学剂用量
- ☞ 可泵时间、注入速度
- ☞ 调堵时机
- ☞ 施工参数，如段塞数、段塞大小

调剖堵水技术的现状

☞ 中国石油勘探开发研究院于1993年首次系统全面对聚合物凝胶调剖剂的堵水调剖机理进行了研究

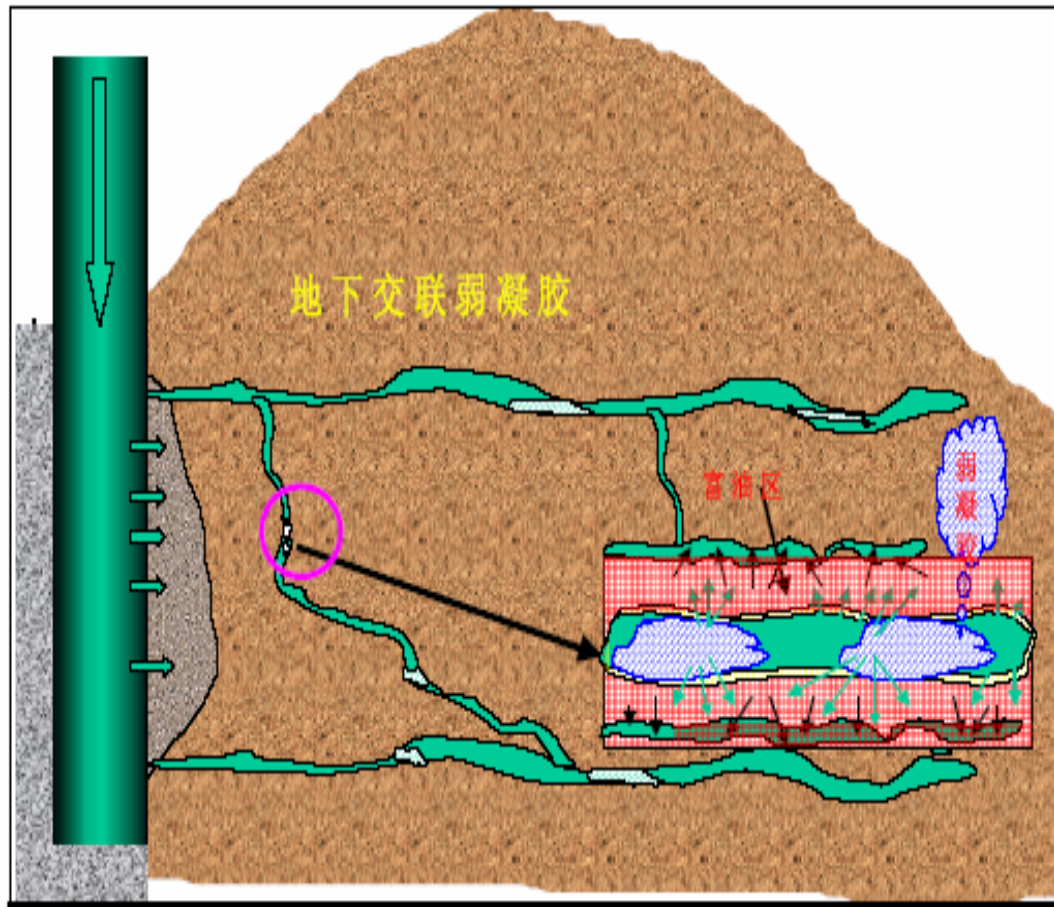
☞ 利用仿真玻璃模型、不同刻蚀玻璃模型、填砂长管模型以及核磁共振成像技术平面模拟等研究聚合物调剖剂在多孔介质中的充填、运移和堵塞机理，以及聚合物调剖剂对非目的层的伤害。

☞ 首次观察并提出聚合物凝胶调剖剂在多孔介质中的“漂移”理论

☞ 聚合物调剖剂对高渗透大通道形成凝胶堵塞，迫使注入水选择新的流动通道，向较低渗透层突破，从而扩大了注入水的波及体积，提高了波及效率，提高了注入水的利用率。

调剖堵水技术的现状

👉 针对不同堵剂的性能开展的封堵机理研究



弱凝胶的爬行机理

弱凝胶在爬行过程中，因地层孔喉的不断变化从而动态改变地层深部微压力场分布，模拟实验中表现为多孔介质渗透率的不规则波动，这种动态堵塞使后驱替流体在地层深部发生液流转向，驱替到更多的可波及孔隙，从而提高注入水扫油效率，达到提高原油采收率的目的。

调剖堵水技术的现状

颗粒型堵剂的封堵机理研究

通过颗粒堵剂注入能力和微观封堵机理模拟实验，及大平面均质正韵律、反韵律玻璃模型堵调驱油实验，研究了孔喉尺寸与粘土颗粒粒径的配伍性（架桥机理），颗粒堵剂在岩心中的注入能力，颗粒堵剂微观封堵机理，注入工艺参数（段塞尺寸、封堵次数、堵剂类型）对封堵效果的影响等。

☞ 絮凝堵塞

☞ 积累膜降低渗透率（在岩石表面产生多层膜）

☞ 机械堵塞

☞ 耦合机理（静电耦合机理，粘土带负电，冻胶带正电）

调剖堵水技术的现状

☞一般意义上的调剖堵水机理研究

☞调剖堵水提高采收率（扩大波及）实验

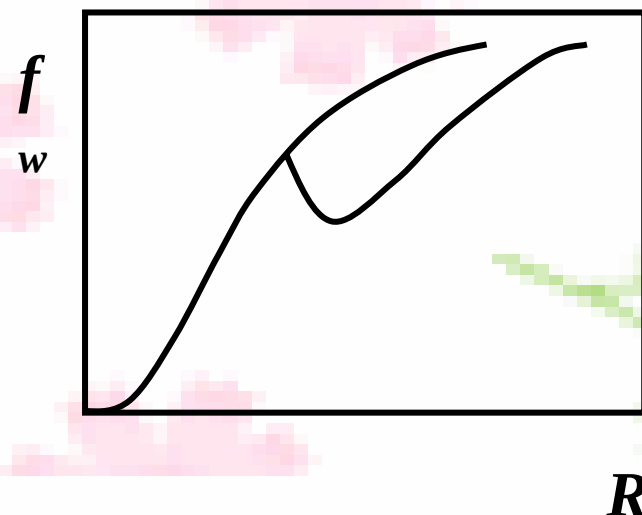
☞双管并联岩心驱油实验

- 单管岩心驱油实验

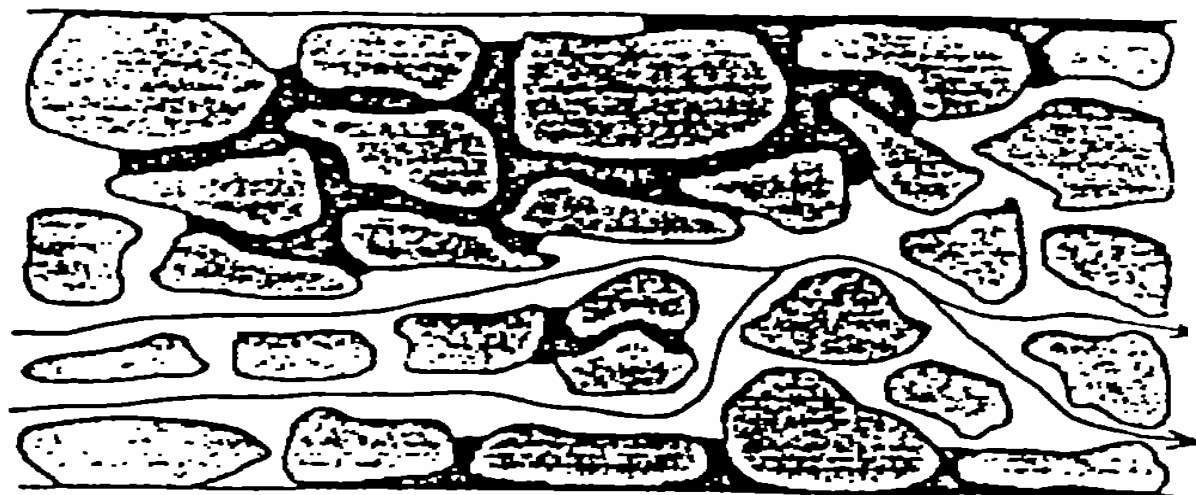
- 双管岩心驱油实验

- 双管岩心不同时机调剖的驱油实验

☞平面模型驱油的核磁共振实验



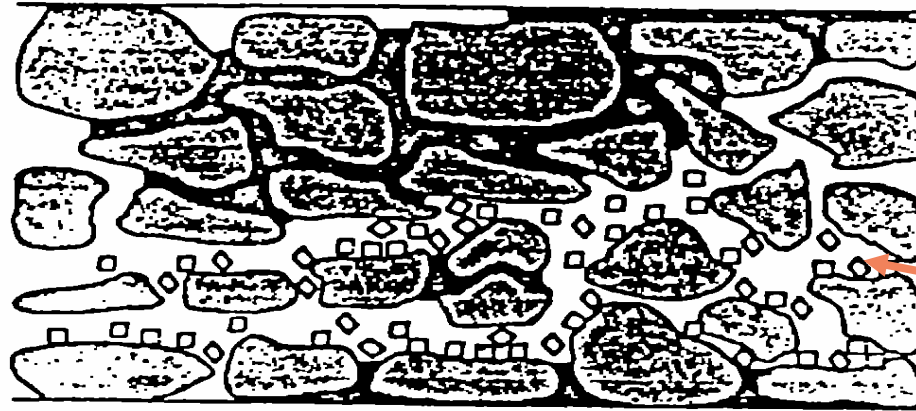
流动
路线



水

水淹油层中水的流动路线

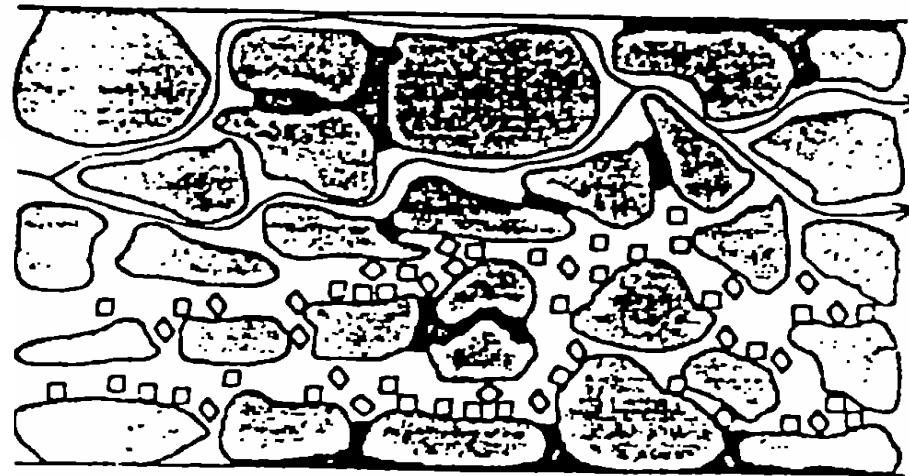
调剖堵水技术的现状



盐沉淀

盐沉淀改善了渗透率剖面

新
流
动
路
线



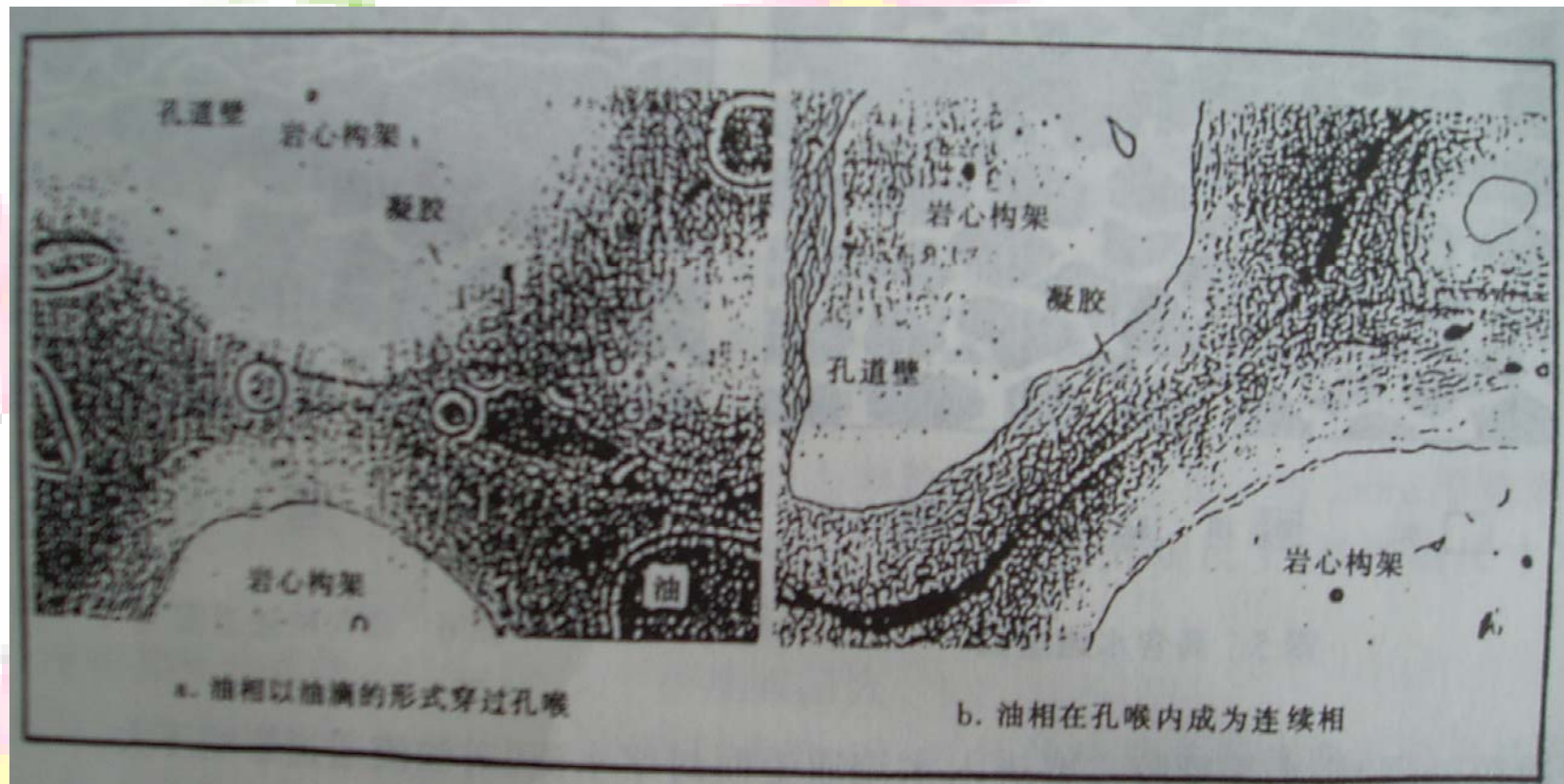
水

盐沉淀后水的流动路线

调剖堵水技术的现状

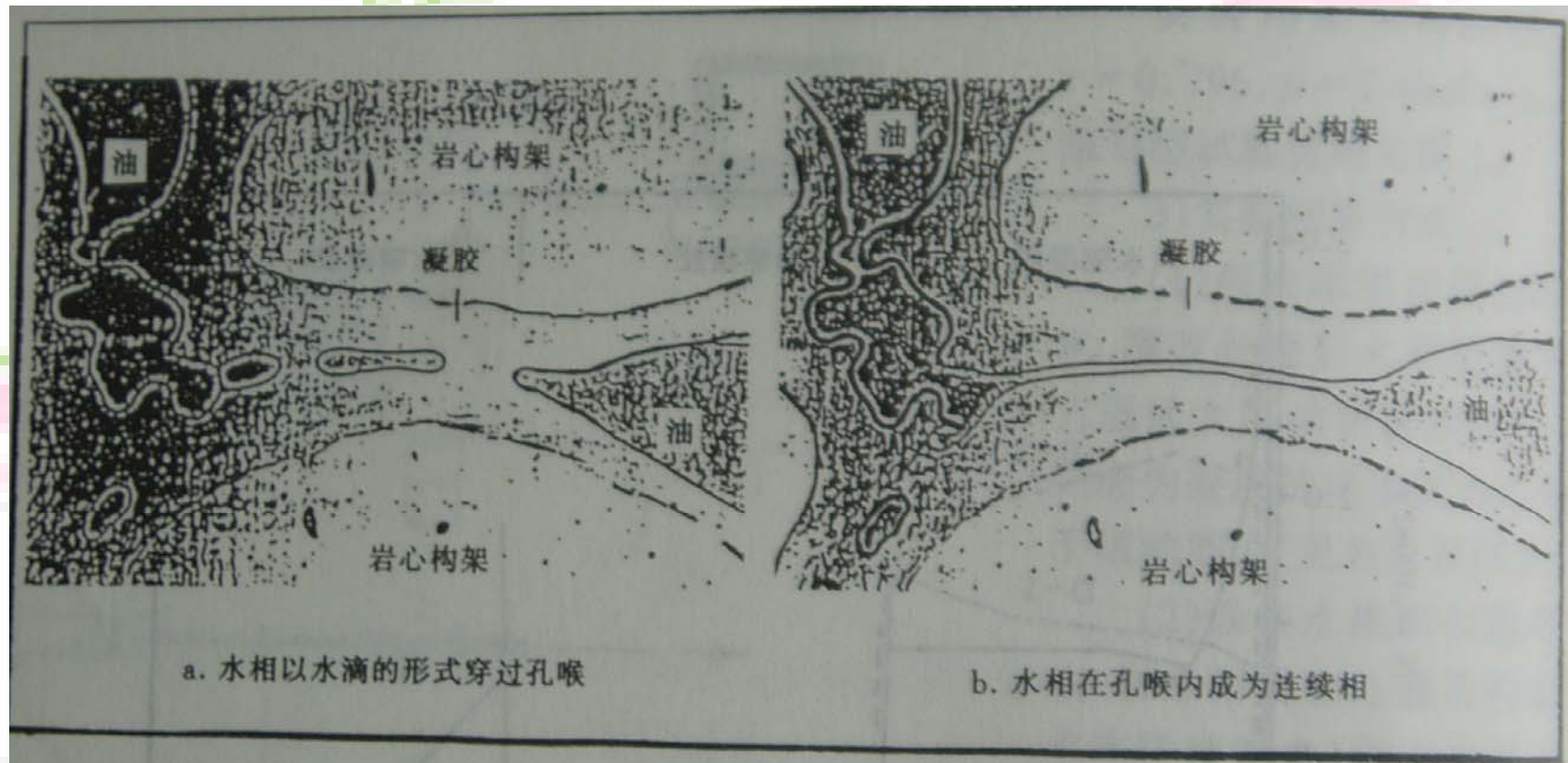
堵剂通过喉道的微观实验

(英国帝国理工医学院能源系Richard A. Dawe教授)



油通过被凝胶封堵的孔道

调剖堵水技术的现状

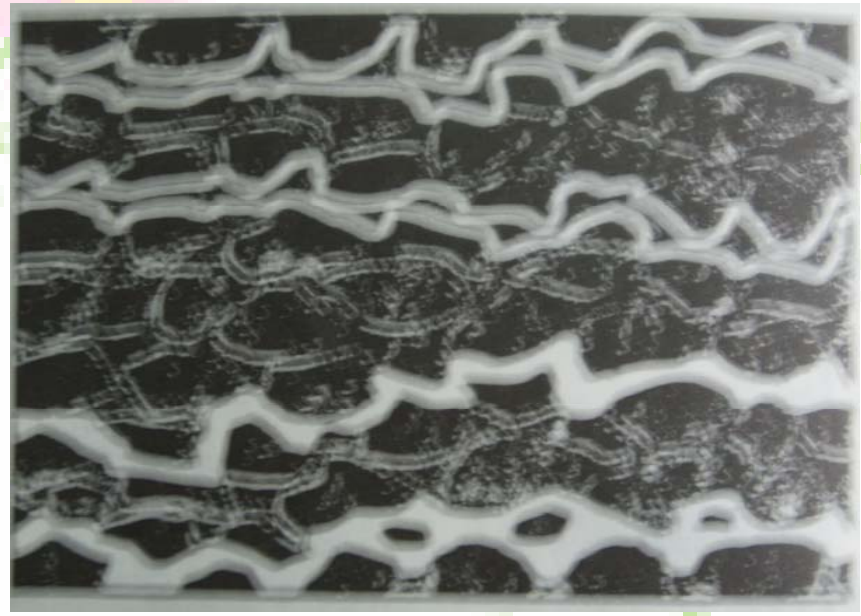
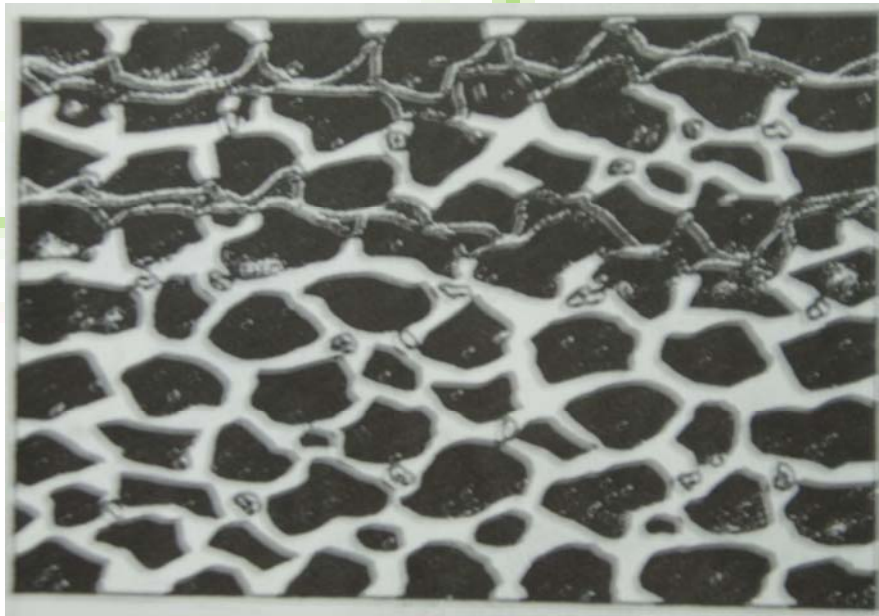


水通过被凝胶封堵的孔道

调剖堵水技术的现状

堵剂选择性封堵实验

(美国新墨西哥实验研究中心)



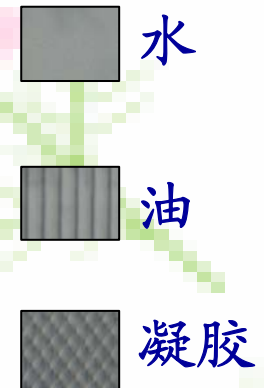
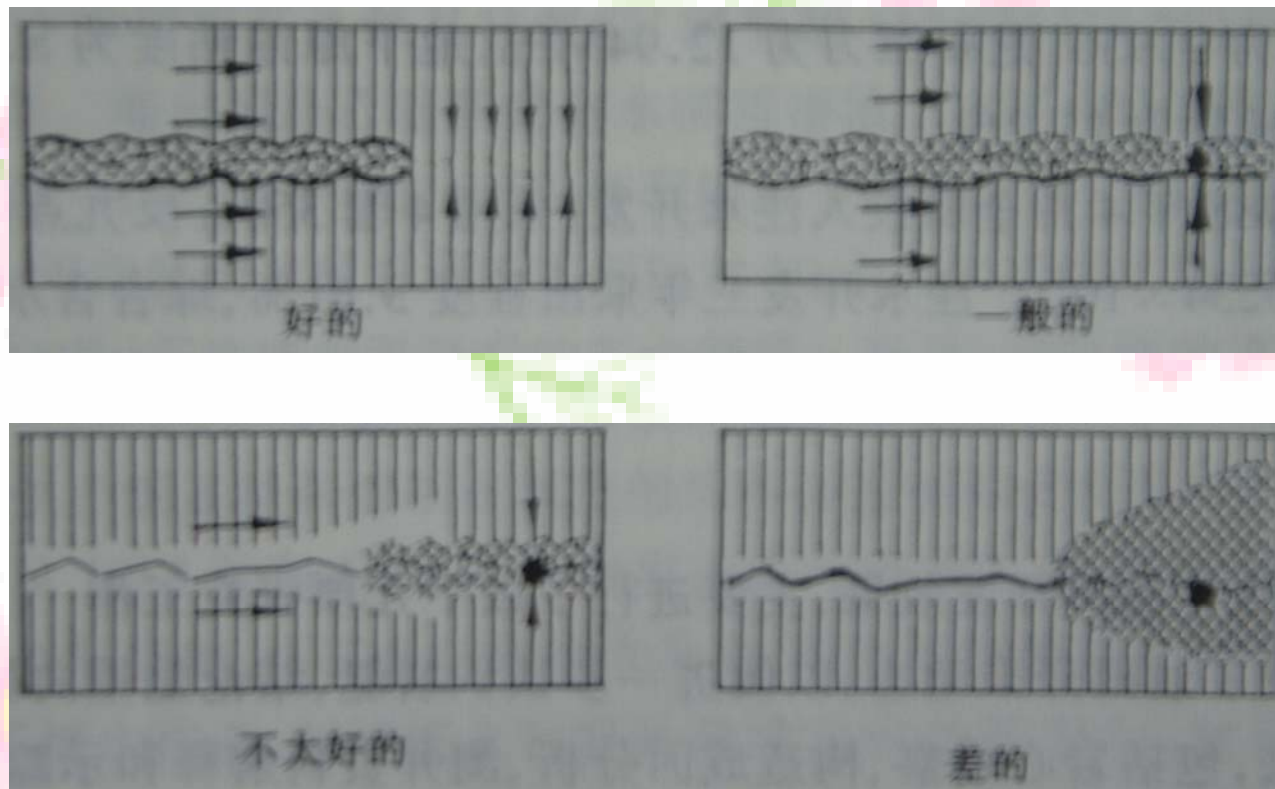
油水通道是各自分隔的，凝胶处理时，水基凝胶主要进入水流通道而封堵水流，对油流通道影响不大。

调剖堵水技术的现状

堵剂充填技术实验

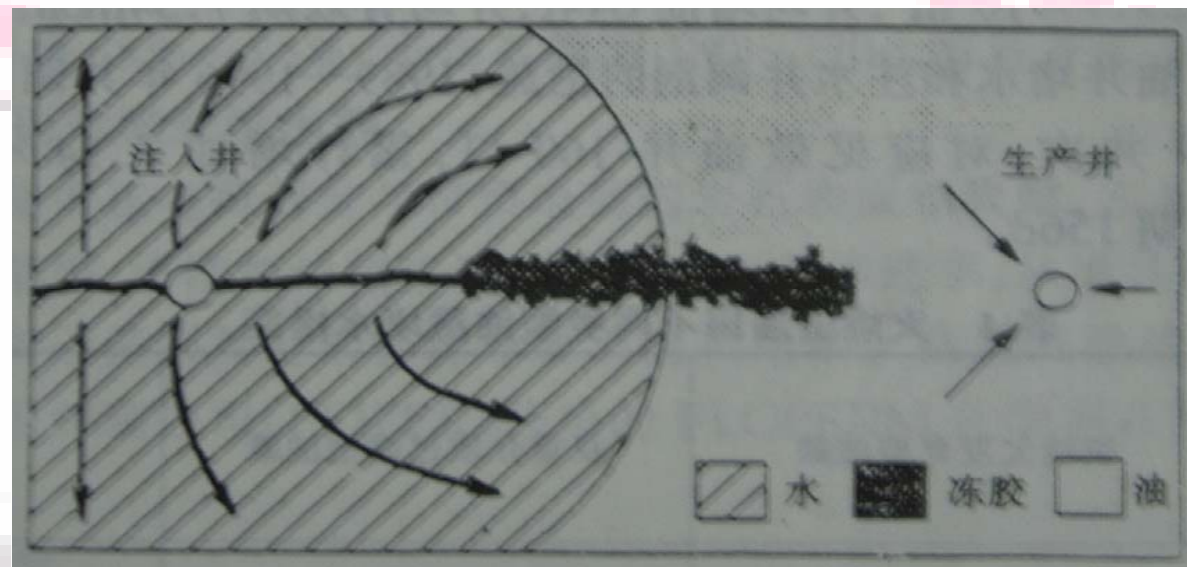
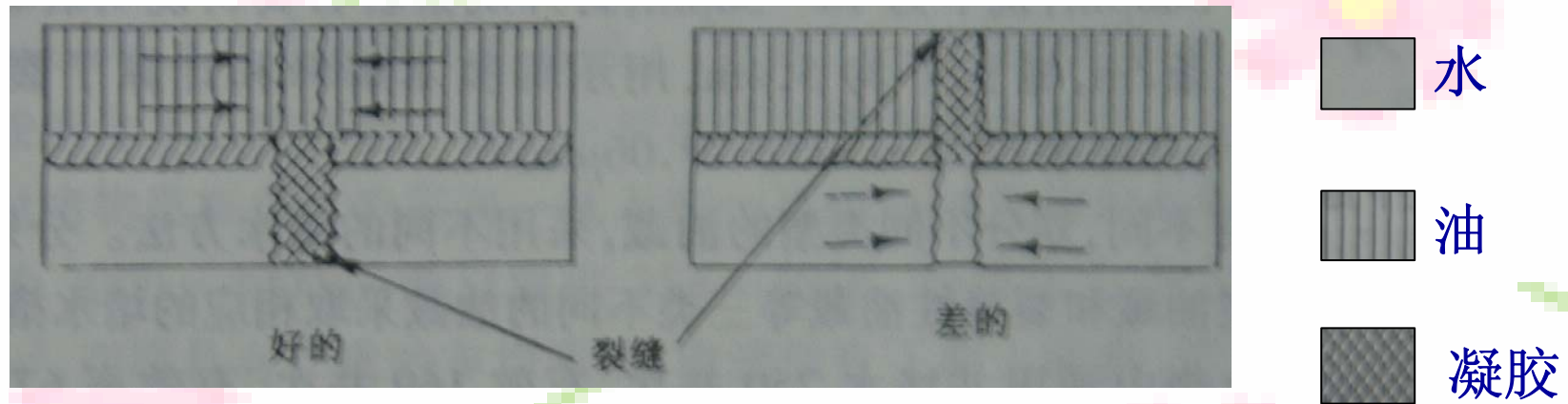
(建立了裂缝油藏堵剂充填模式, 但未做实验)

俯视图



调剖堵水技术的现状

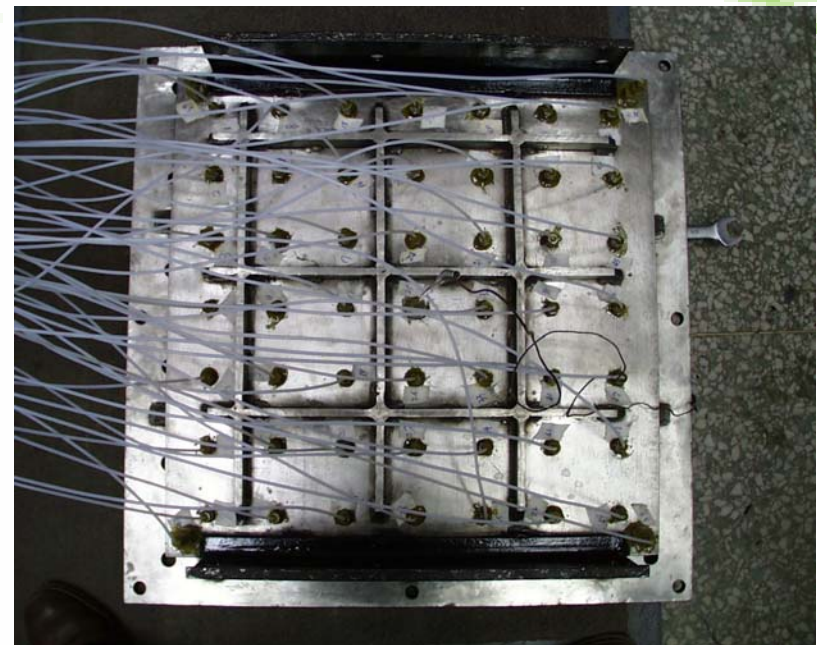
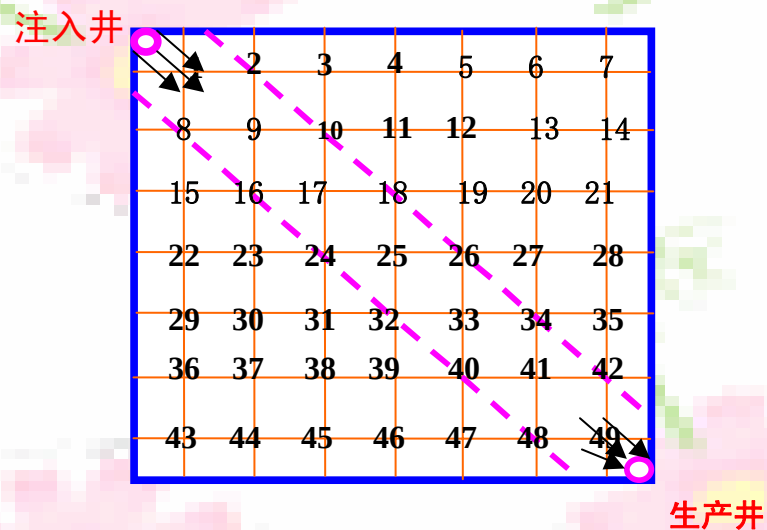
侧视图



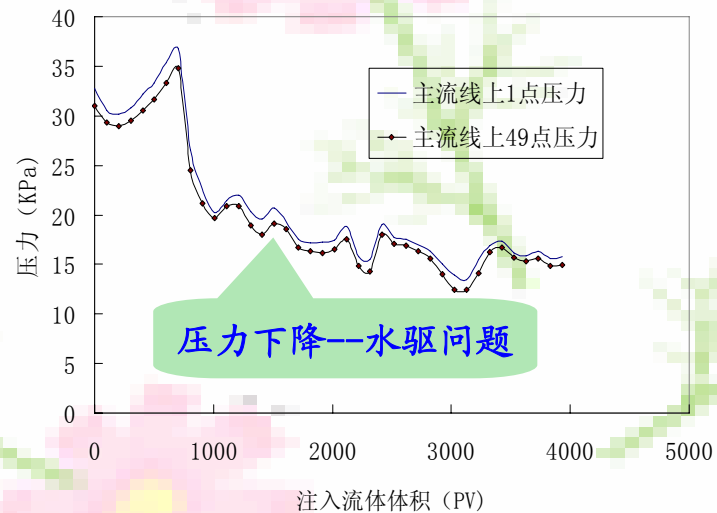
有裂缝油水井冻胶合理放置位置图

调剖堵水技术的现状

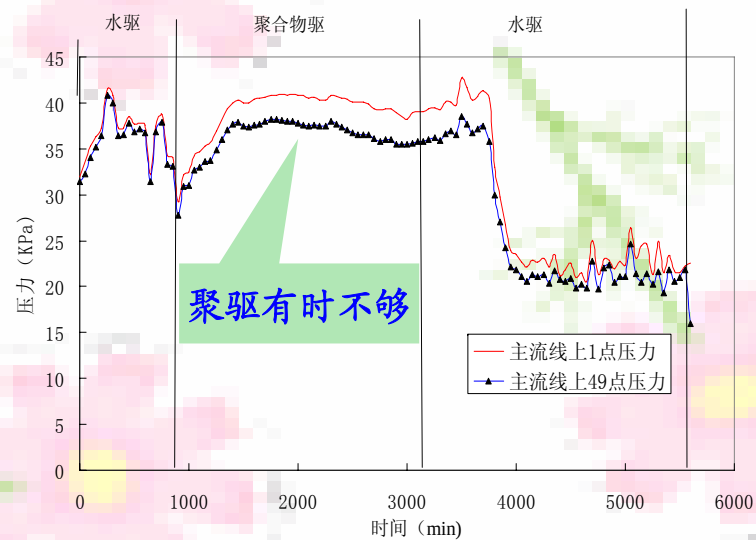
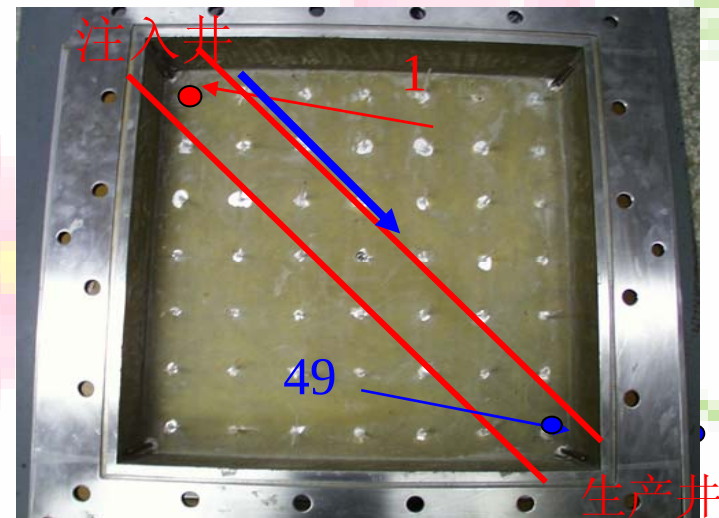
👉 调剖堵水改变压力场实验——液流转向实验
(北京石油勘探开发研究院)



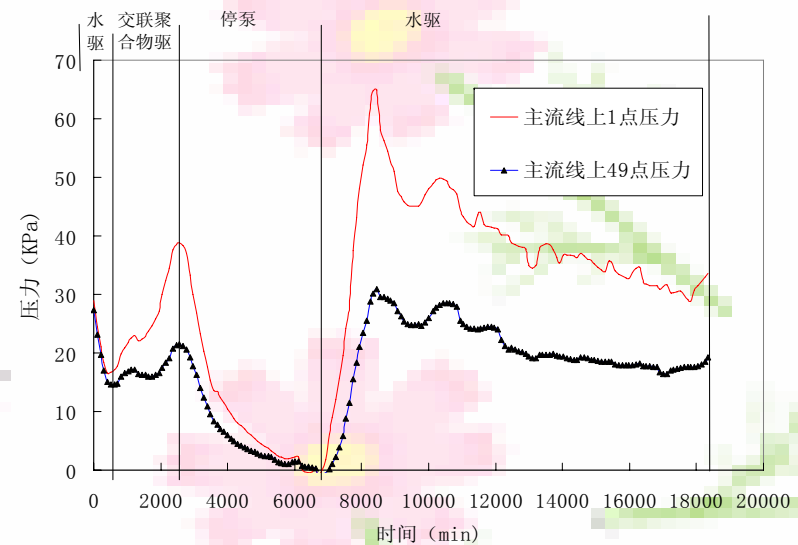
调剖堵水技术的现状



(a) 水驱

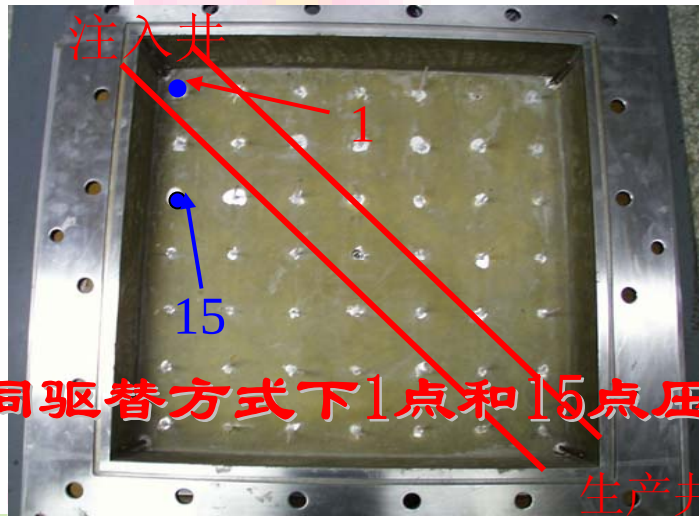


(b) 聚合物驱

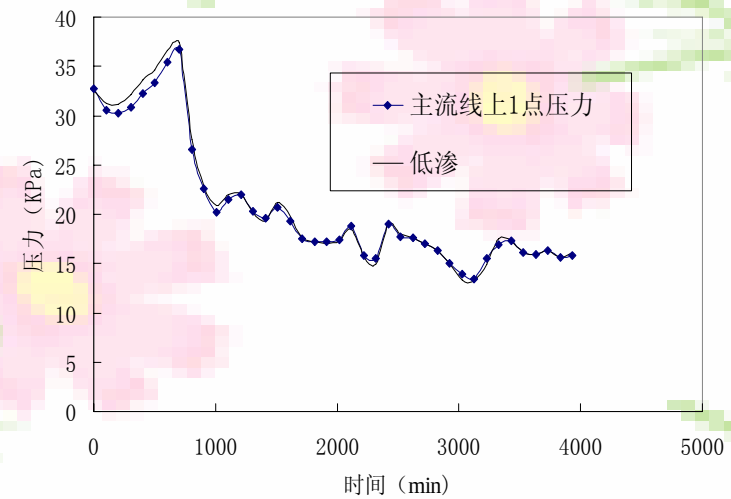


(c) 交联聚合物驱

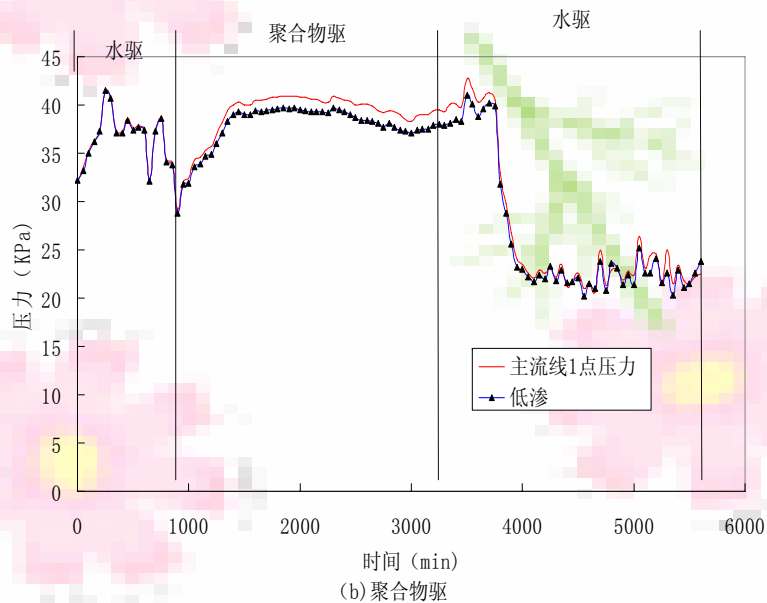
调剖堵水技术的现状



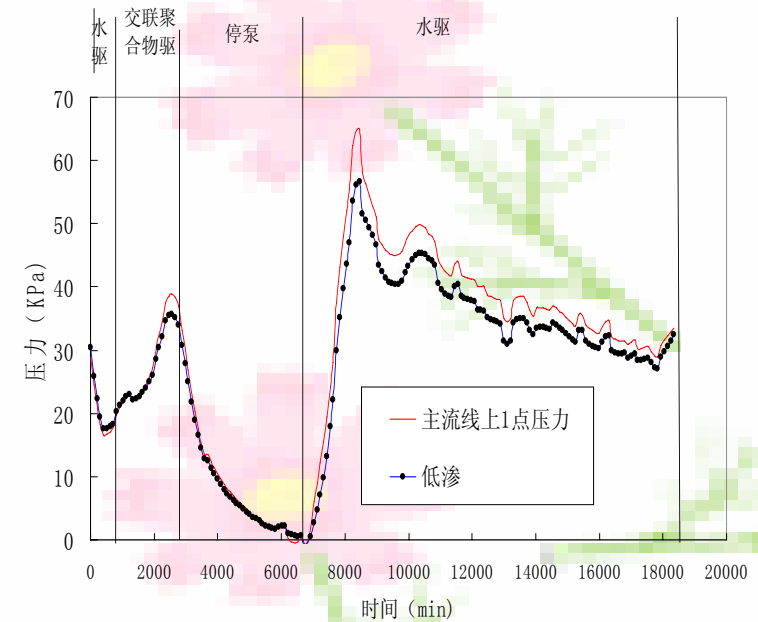
不同驱替方式下1点和15点压力变化



(a) 水驱



(b) 聚合物驱

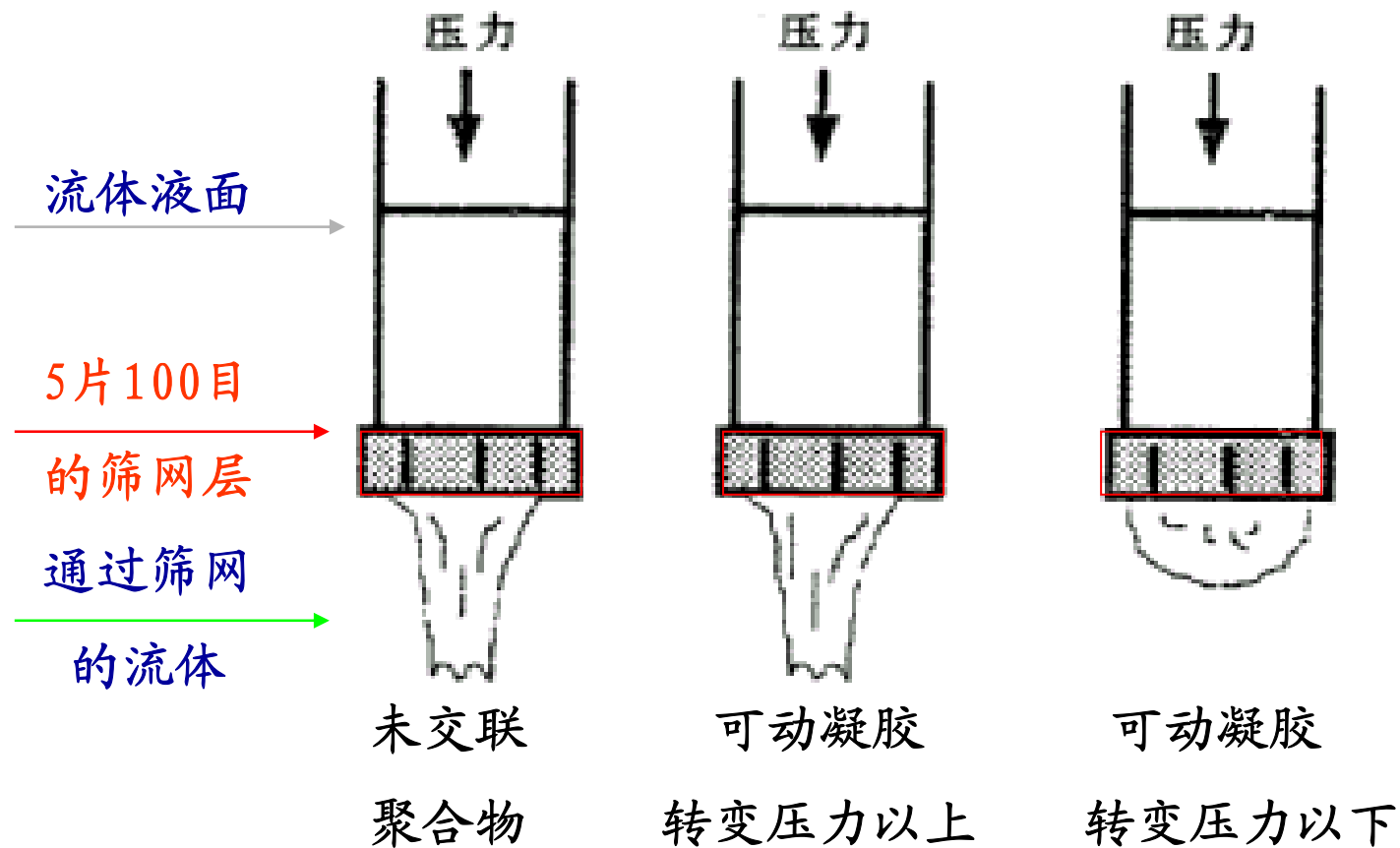


(c) 交联聚合物驱

调剖堵水技术的现状

☞ 可动凝胶转变压力实验

(北京石油勘探开发研究院采收率所)



可动凝胶转变压力测定示意图

调剖堵水技术的现状

可动凝胶驱油实验

网络模型



图4 聚凝体调驱过程

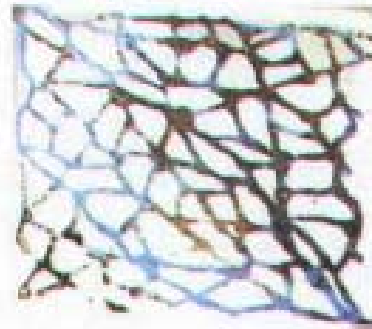


图5 后续水驱

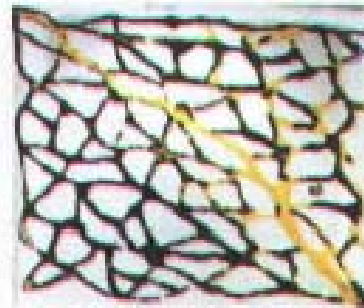


图2 聚合物驱后状况

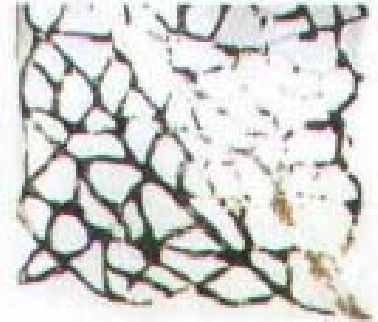


图3 聚凝体调驱过程

并联变径模型

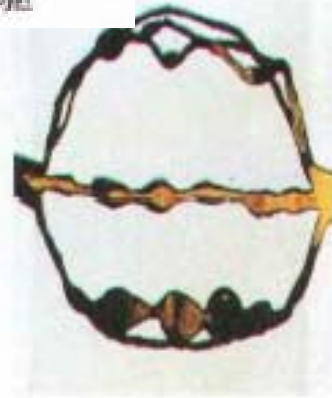


图6 聚合物驱后状况



图7 聚凝体驱后状况

主要内容

调剖堵水技术的地位（作用）

调剖堵水技术的发展历史

调剖堵水技术的现状

调剖堵水技术的内容

1. 调剖堵水的物理模拟研究
2. 以调剖堵水为中心的综合治理技术
3. 区块整体调剖的决策技术
4. 液流深部转向技术调驱技术
5. 其他技术要点
6. 我国主要油田调剖堵水的做法

内容
思路

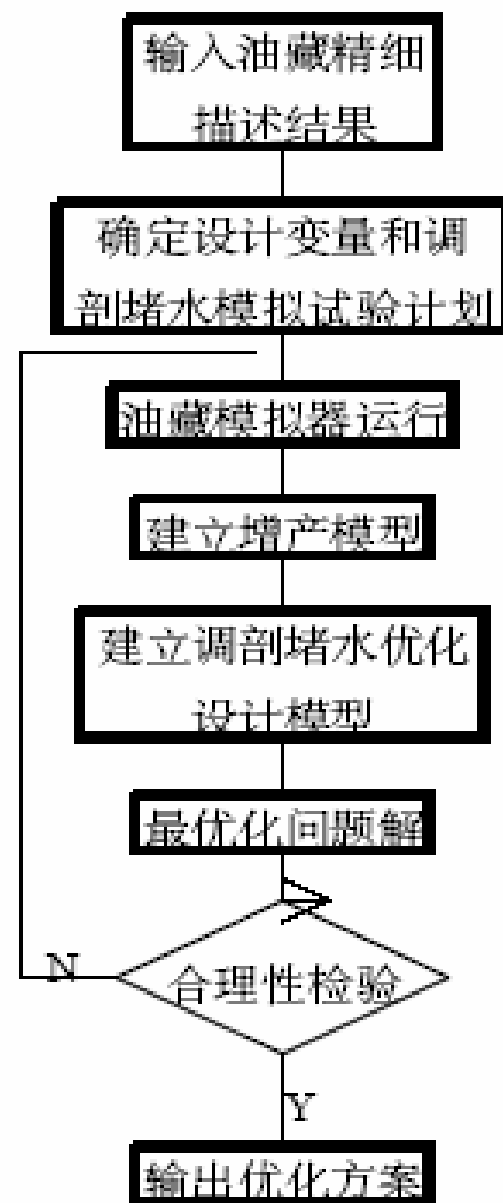
调剖堵水技术的现状

2. 以调剖堵水为中心的综合治理技术

以油藏描述为基础，以油藏数值模拟为手段，建立以经济效益最佳为目标函数，利用最优化方法优化区块以调剖堵水为中心的综合治理方案：

- 调剖堵水措施
- 配套的采油工艺措施

☞ 在八十年代末、九十年代初，曾经作为我国控水稳油的经典做法。



主要内容

调剖堵水技术的地位（作用）

调剖堵水技术的发展历史

调剖堵水技术的现状

调剖堵水技术的主要内容

1. 调剖堵水的物理模拟研究
2. 以调剖堵水为中心的综合治理技术
3. 区块整体调剖的决策技术
4. 液流深部转向技术调驱技术
5. 其他技术要点
6. 我国主要油田调剖堵水的做法

内容
目录

调剖堵水技术的现状

3. 区块整体调剖的决策技术

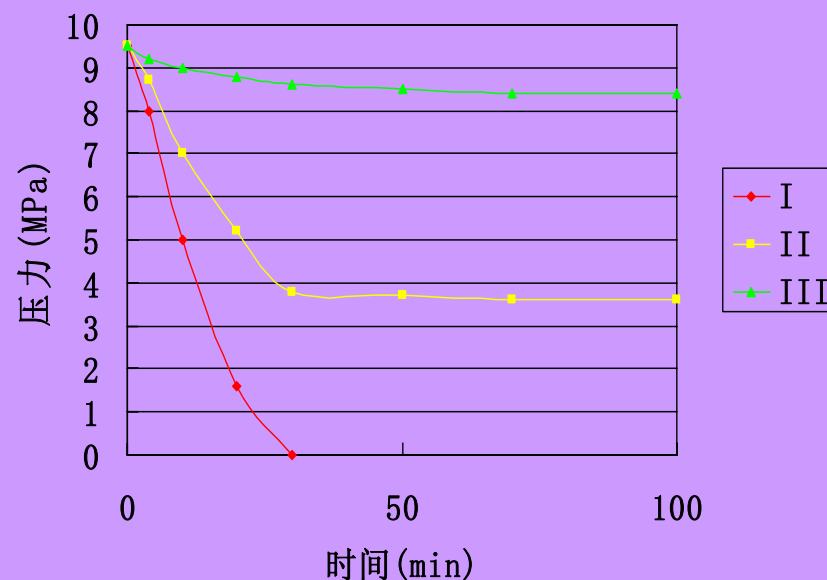
石油大学赵福麟教授在九十年代初提出了利用压降曲线指导调剖的思路（PI决策的原型），并在1994年的北戴河会议上作了大会交流，与会的总公司领导和专家认为该方法简单可行，但缺少理论依据，希望石油大学在此基础上开发出一套能将地质和工艺结合的整体调剖决策技术，以指导全国调剖堵水工作。于是，石油大学开展了这方面的研究，分别形成了PI决策和RE决策两套技术，并在97年1月的海口会上做了重点发言，受到广泛好评。之后，北京石油勘探开发研究院又在RE决策的基础上，开发出了一套RS决策技术（于98年3月在北京介绍）。

调剖堵水技术的现状

● 压力指数(PI)决策技术

☞ 压力指数决策技术主要使用注水井井口压降曲线计算所得的压力指数值 (Pressure Index) 决定区块整体治理中重大问题的技术。

☞ 注水井井口压降曲线是指关井后测得的注水井井口压力随时间的变化曲线。

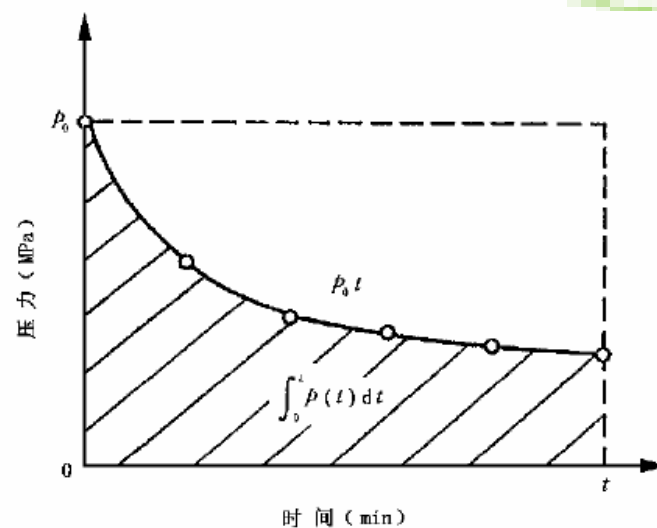


- I型的特点是迅速下降
- II型的特点是先迅速下降然后缓慢下降
- III型的特点是缓慢下降

调剖堵水技术的现状

压力指数决策技术主要使用区块整体堵水调剖，充分发挥各种综合治理措施的作用，以达到改善区块开发指标为目的。可以解决高含水油田以堵水调剖为中心的区块综合治理中6大方面问题：

- 判断区块调剖的必要性
- 决定区块上需要调剖的注水井
- 选择适合地层特征的调剖剂
- 计算调剖剂用量 ($W = \beta h_f \Delta PI$)
- 评价调剖效果
- 确定调剖周期



$$PI = \frac{\int_0^T P dt}{T}$$

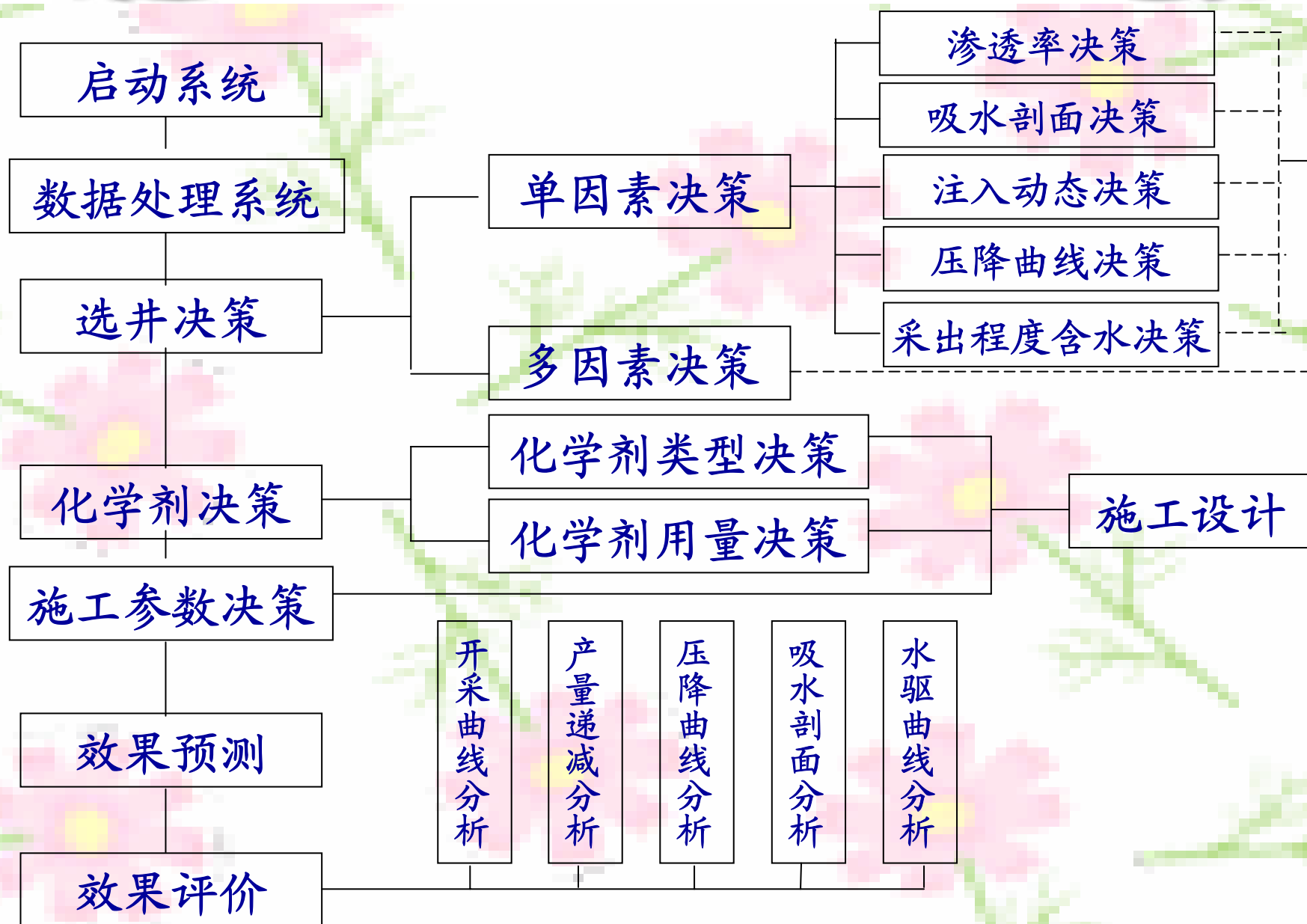
调剖堵水技术的现状

● 油藏工程 (RE) 决策技术

油藏工程决策技术 (RE) 是以油藏精细描述为基础，结合区块静态和动态特征，建立的区块整体调剖决策技术，可实现区块整体调剖从选井决策→堵剂决策→工艺设计→效果预测→效果评价的一体化。



调剖堵水技术的现状



调剖堵水技术的现状

● 整体调剖RS优化决策系统

区块整体调剖优化设计软件适用于区块整体调剖和单井调剖优化设计及调剖后的效果评价，包含以下几个主要功能模块：

选井：根据注水井的注入动态、油藏的非均质状况和周围油井的生产动态资料，采用模糊综合评判技术，通过综合对比，筛选区块内适合调剖的候选井。

单井设计：包括调剖剂用量优化、施工参数（压力和排量）优选、效果预测和经济评价等

区块效果整体调剖效果预测：预测不同调剖剂用量下，区块的产油、产水、可采储量、采出程度变化情况。

效果评价：形成调剖前后开采数据表和生产动态变化表及图形，评价调剖施工效果和经济效益。

报告输出：输出WORD形式的区块整体调剖优化设计报告。

主要内容

调剖堵水技术的地位（作用）

调剖堵水技术的发展历史

调剖堵水技术的现状

调剖堵水技术的主要内容

1. 调剖堵水的物理模拟研究
2. 以调剖堵水为中心的综合治理技术
3. 区块整体调剖的决策技术
4. 液流深部转向技术调驱技术
5. 其他技术要点
6. 我国主要油田调剖堵水的做法

内容
目录

调剖堵水技术的现状

4. 液流深部转向技术、调驱技术

深部放置，打乱旧的压力场、流线场，使水驱转向

(1) 深部调剖液流转向剂

高含水期深部调剖液流转向技术给深部调剖剂提出了不同于传统大剂量深部调剖的新要求：

☆ 深部调剖剂必须满足长时间连续注入的技术要求，在注入过程中对于环境的变化（剪切速率、pH值、地层水的稀释等）不敏感。

☆ 深部调剖剂在多孔介质中具有一定的运移和堵塞作用，能达到调剖和驱替相结合的协同效果。

☆ 作为一种油藏调剖剂，应具有较好的选择性进入能力，能尽可能多的进入高渗层，减少对非目的层的伤害。

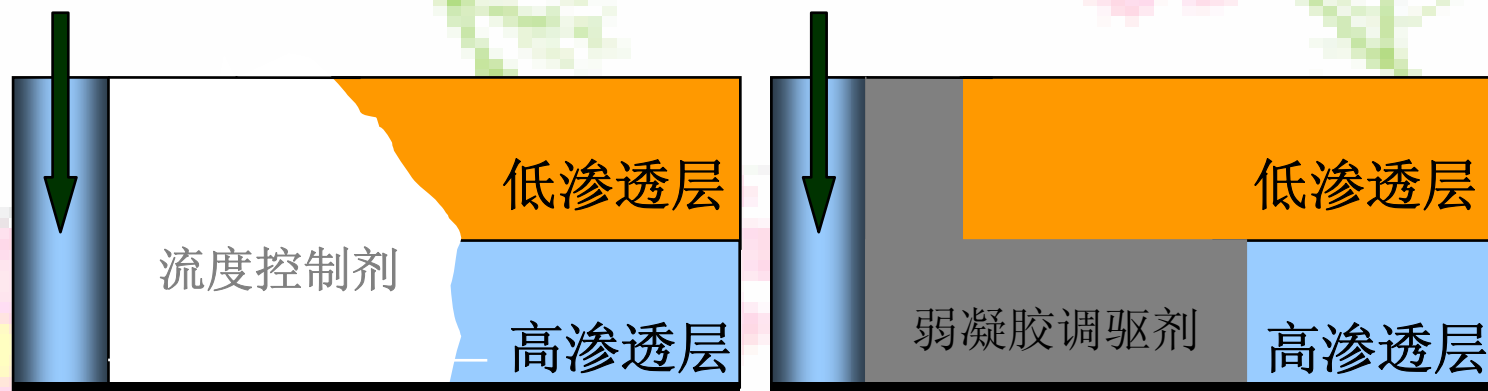
☆ 作用重点已不在调剖，而在使深部流体转向。

调剖堵水技术的现状

(2) 深部液流转向技术现状

“九五”以来，调剖工作重点才集中在深部处理液流转向技术方面，现场应用的深部调剖（驱）剂体系主要有：

- ★ 地下交联弱凝胶体系
- ★ 胶态分散凝胶CDG体系
- ★ 粘土—聚合物体系
- ★ 地面预交联体膨颗粒体系
- ★ 预交联弱凝胶体系（针对裂缝、大孔道）



(A : 流度控制剂进入低渗透层多) (B : 弱凝胶调驱剂进入低渗透层少)

主要内容

调剖堵水技术的地位（作用）

调剖堵水技术的发展历史

调剖堵水技术的现状

调剖堵水技术的主要内容

1. 调剖堵水的物理模拟研究
2. 以调剖堵水为中心的综合治理技术
3. 区块整体调剖的决策技术
4. 液流深部转向技术调驱技术
5. 其他技术要点
6. 我国主要油田调剖堵水的做法

内容
目录

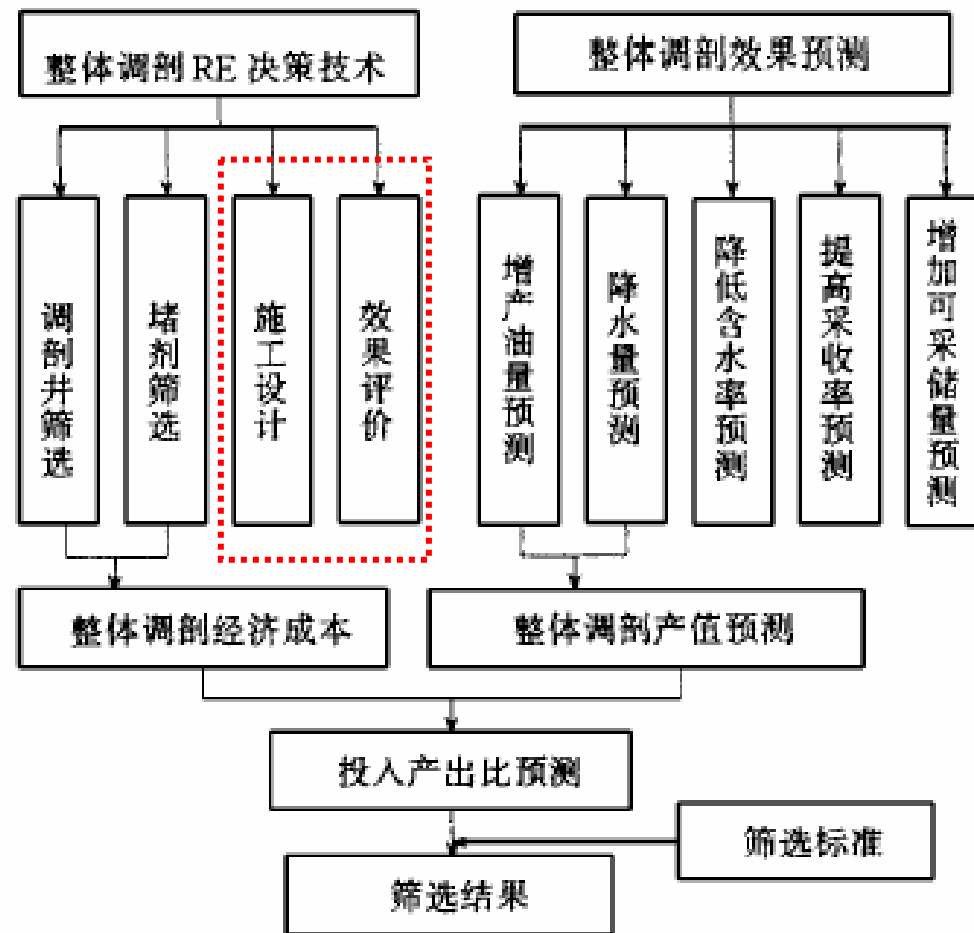
调剖堵水技术的现状

5. 其他技术要点

- 整体调剖筛选技术
- 堵调结合技术
- “2 + 3”技术
- 调驱技术
- 调剖堵水的数值模拟技术
- 示踪剂监测与描述技术
- 电位法监测技术
- 三次采油中的调剖堵水技术

调剖堵水技术的现状

● 整体调剖筛选技术



97年1月海口会议上确定出要研制整体调剖筛选技术，对全国主要区块进行筛选评价，98年在北京举办了全国的培训班，但因后来石油系统分家、改制，这项工作没有进行下去。

调剖堵水技术的现状

- 堵调结合技术

以孤东油田八区5-6层系为研究对象，提出了一套高含水期油田以注水井调剖为中心、辅以油井堵水的堵调综合治理方法。利用模糊综合决策方法优选最佳的堵调措施井，设计了最佳的工艺参数，并根据油水井的生产特征实施了不同堵剂组合的堵调工艺措施。矿场试验结果表明，所有措施水井的视吸水指数下降，压力指数上升，吸水剖面明显改善。对应的油井含水率下降，日产油量上升，水驱开发效果有所改善，原油采收率提高了5.5%。

调剖堵水技术的现状

针对油水井的生产特征,采用不同的堵剂组合方法,实施不同的封堵工艺,以达到较好的封堵效果。

(1) 对于注水压力小于5MPa及 $PI < 2.0$ MPa的注水井,其孔道较大或存在特高渗透层,须用高强度堵剂封堵,故采用粉煤灰加超细水泥封堵。施工时采用多段塞大剂量顶替,尽量扩大封堵半径。

(2) 对于注水压力为5~8MPa 及 $2\text{MPa} < PI < 3$ MPa 的注水井,由于它存在高渗透层,故采取先用树脂颗粒堵剂封堵高渗透层,再用冻胶与膨润土双液法进行调剖的方法——“先堵后调”的工艺

(3) 对于注水压力大于8MPa 及压力指数 $PI > 3$ MPa的井,虽然存在高渗透层,但其井壁附近可能存在某些堵塞,故采取先用低浓度聚合物冻胶堵剂驱替,再用树脂凝胶堵剂或较高浓度的冻胶堵剂调剖的“先驱后调”工艺。

(4) 对4口高含水油井用干水泥砂进行堵水,对液量较低的井采用木钙复合冻胶堵剂进行堵水。

调剖堵水技术的现状

● “2 + 3”技术

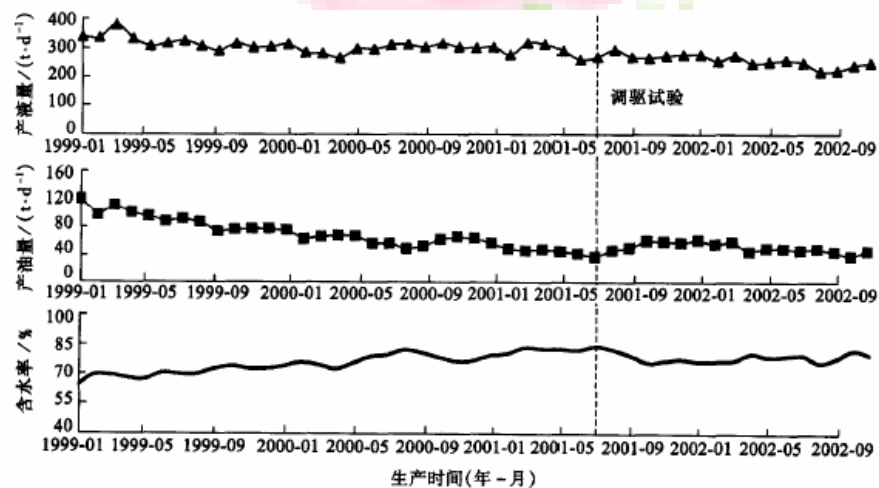
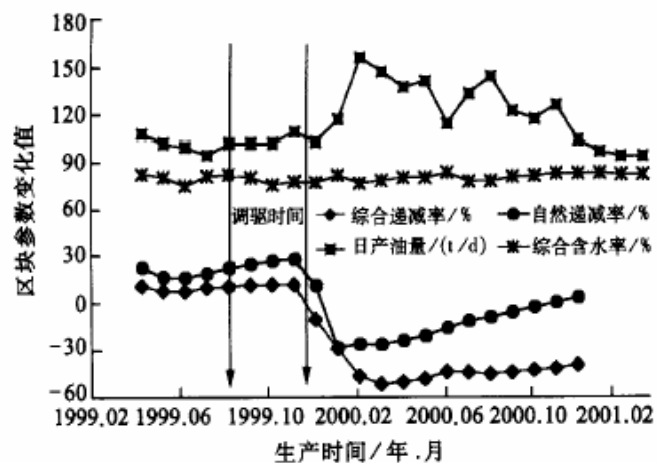
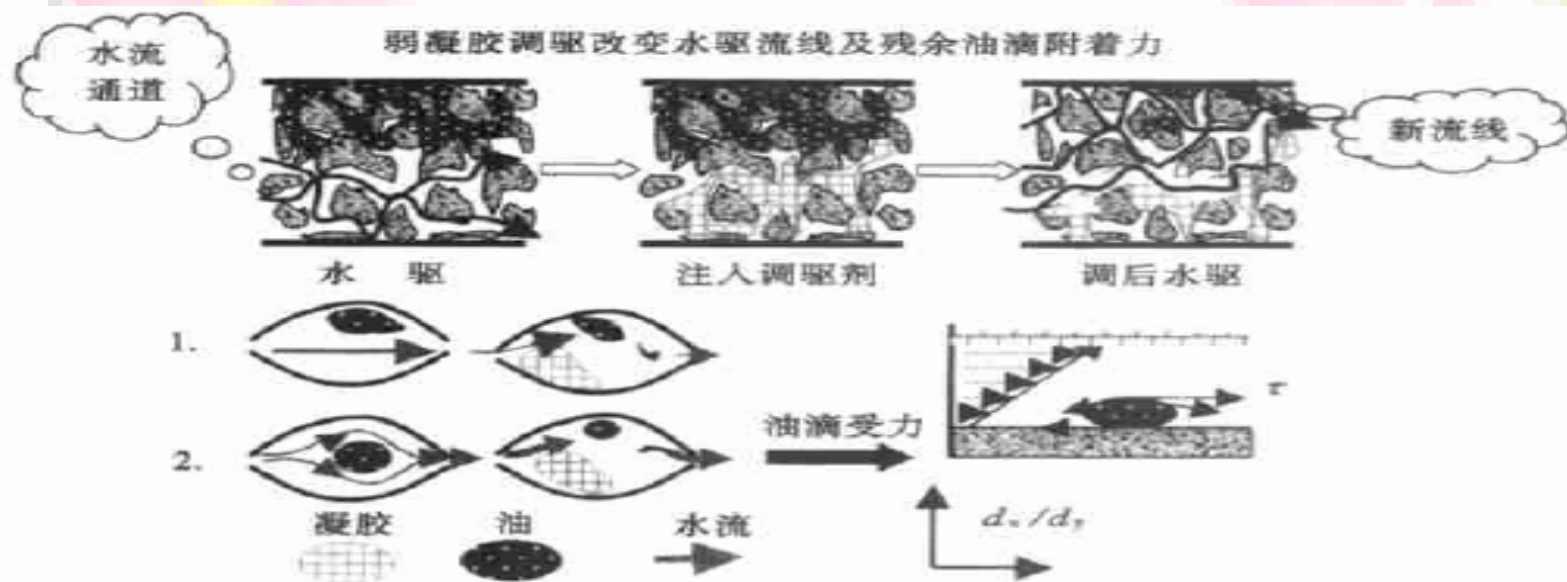
二次采油与三次采油的结合技术（简称“2+ 3”提高采收率技术）是指在充分调剖，充分发挥二次采油作用的基础上进行有限度三次采油的技术。该技术由两项技术组成，即充分调剖技术和有限度三次采油技术。前者有两个技术关键：一个是调剖充分程度的判别，另一个是堵剂系列的建立。后者也有两个技术关键：一个是高效驱油剂配方的筛选，另一个是驱油剂用量的优化。文中重点介绍了上述技术关键的研究结果，其中特别重要的是提出了用注水井井口压降曲线充满度判别调剖充分程度的标准和在有限度三次采油中注入 $0.02 V_p$ 活性剂的量化指标。此技术已在老河口油田的试验井组和蒙古林油田的试验区中取得了较好的结果，证实了该技术的可行性。

调剖堵水技术的现状

● 调驱技术

它是在普通聚合物溶液中加入少量交联剂，使聚合物分子内部发生交联或多个分子间发生交联，形成弱胶粒，提高体系粘度，增加其流动阻力。由于聚合物和交联剂用量少、浓度低，交联反应需要较长的时间，在注入井周围，弱凝胶象聚合物溶液一样，优先进入高渗透层，而交联反应还没有大量发生。此外，由于井底压差大，即使形成部分胶粒也容易变形，因而不具有堵塞作用。进入地层深部后，弱凝胶才有足够的时间发生反应，粘度升高，流动阻力增大；同时，作用在弱凝胶上的压差小，胶粒不易变形，从而堵塞部分孔道，使高渗透层渗透率降低，迫使注入水重新形成新的旁通流道，使注入水转向低渗透层带，波及未波及的区域，使低渗透层带的剩余油得以充分动用，从而起到注水井调剖和聚合物驱油的双重作用，最终达到提高原油采收率的目的。

调剖堵水技术的现状



调剖堵水技术的现状

● 调剖堵水的数值模拟技术

哈里伯顿石油公司的KTROL程序用来模拟单井堵水调剖的施工过程，并预测措施后的产液或吸水剖面，同时可进行单井堵剂类型、用量、注入压力施工参数的设计，该软件为不可压缩流体的径向流模型，主要考虑了堵剂的吸附、扩散、稀释、滞留、交联化学反应、残余阻力系数、注入水突破凝胶段塞后的粘性指进等因素：没有考虑多油层的层间窜流及井间干扰、重力、毛管力、堵剂的剪切和降解等因素，此外该软件不能对区块堵水调剖进行优化设计。

英国AEA技术咨询公司研制出了聚合物地下交联反应进行堵水调剖的软件SCORPIO，为三维三相多组分模型，考虑了温度场的变化、化学组分在岩石表面的吸附及交联化学反应、成胶前聚合物溶液粘度的变化，聚合物和交联剂在岩石表面的滞留、交联反应，凝胶导致渗透率的降低等主要因素。

调剖堵水技术的现状

Kansas大学研制出了聚丙烯酰胺在氧化还原条件下地下交联化学反应的数学模型。该模型基于McCool和Martir的“渗滤”假设理论，即成胶前渗透率的降低主要是由于HPAM/ Cr^{3+} 的渗滤、聚集。该模型考虑了各化学组分的吸附滞留、化学反应动力学，渗透率的降低等因素。该模型是基于室内岩芯驱替实验基础上建立的一维模型。

国外软件的主要特点：

软件规模大、功能全、主要用于工作站

对堵水调剖机理描述不是很多

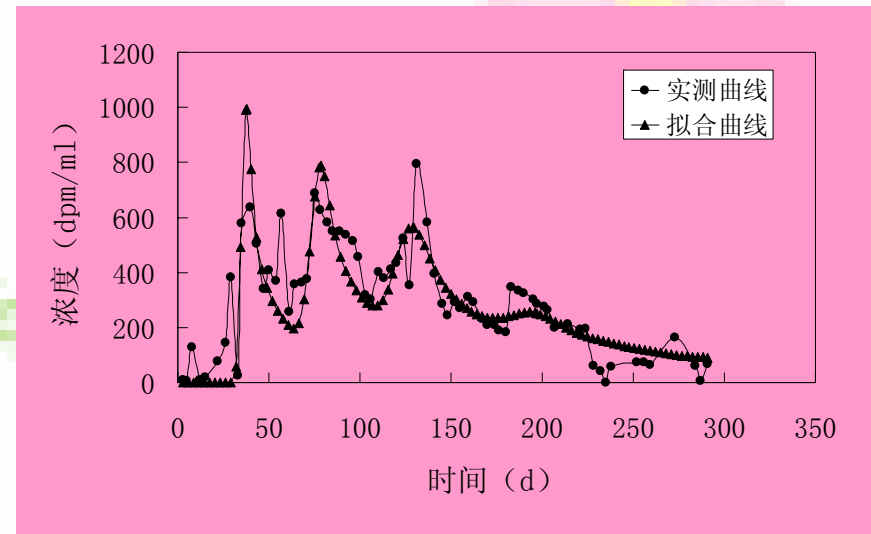
石油大学在黑油模型的基础上，研制出了油水堵三相三组分模型，用于调剖设计分析。

北京石油勘探开发研究院研制出了三维三相多组分的化学驱模型，考虑吸附、滞留等机理——主要用于调驱。

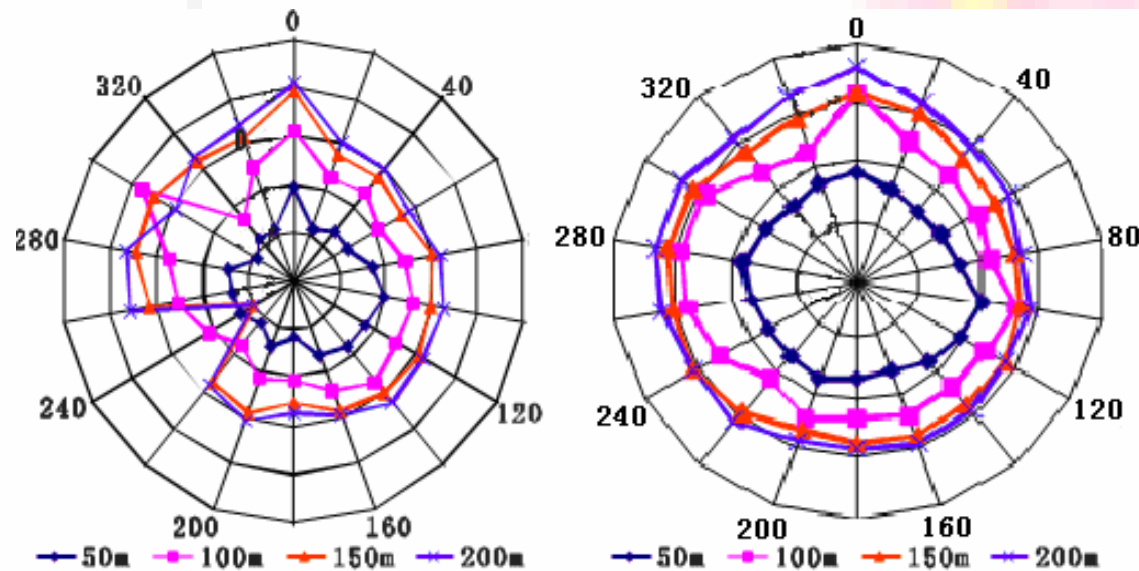
石油大学郎兆新研制出了交联聚合物驱数值模拟软件。

调剖堵水技术的现状

● 示踪剂监测与描述技术



● 电位法监测技术



调剖堵水技术的现状

● 三次采油中的调剖堵水技术

注聚前调剖:

同常规水驱调剖一样。

注聚后调剖:

为了做好注聚区的整体调剖工作，首先需要对调剖井进行优选，常规水驱开发油田的调剖井选择的依据主要是渗透率、吸水剖面、注入动态及井口压降曲线等。因为聚合物产出浓度的高低很大程度上反应了地层孔道的大小，对于注聚后转水驱的注水井，在优选调剖井时还应考虑注水井对应油井的聚合物产出浓度的大小，如果对应油井的聚合物产出浓度越高的注水井调剖的可能性越大。所以注聚后转水驱的区块优选调剖井的依据主要有渗透率、吸水剖面、注入动态、井口压降曲线及对应油井的聚合物产出浓度值，方法是利用模糊综合评判的原理对这些资料进行了多因素模糊综合评判，求得优选调剖井的决策因子，然后根据决策因子的大小选择调剖井。

调剖堵水技术的现状

● 三次采油中的调剖堵水技术



主要内容

调剖堵水技术的地位（作用）

调剖堵水技术的发展历史

调剖堵水技术的现状

调剖堵水技术的主要内容

1. 调剖堵水的物理模拟研究
2. 以调剖堵水为中心的综合治理技术
3. 区块整体调剖的决策技术
4. 液流深部转向技术调驱技术
5. 其他技术要点
6. 我国主要油田调剖堵水的做法

内容
目录

调剖堵水技术的现状

6. 我国主要油田调剖堵水的做法

大庆油田的做法

堵水工艺的发展是以精细地质研究为基础，研究厚油层内、套损井的堵水工艺，挖掘厚油层的潜力；注水井化学浅调剖工艺不断完善，措施已从井点扩展到井组和区块，利用集成技术的优势，将堵水、调剖与细分注水、压裂、酸化等其他措施相结合，并利用数值模拟优选调剖区块和调剖井层，优化调剖半径和调剖剂用量，进一步提高控水措施的效果。围绕进一步提高聚合物利用率、扩大波及体积这一中心主题，大庆油田选用了复合离子交联聚合物体系、阴阳离子交联聚合物体系、低浓度交联聚合物体系在注聚前水驱空白阶段、聚驱含水下降至含水上升初期阶段、聚驱含水上升中后期阶段进行深度调剖试验，进一步研究提高聚合物驱油效果。

调剖堵水技术的现状

一、不断发展完善堵水工艺进一步深化产液结构调整技术

1、充分挖掘主力油层的潜力，开展厚油层层内堵水技术研究

(1) 有薄夹层、夹层部位留有未射孔井段层内堵水技术

(2) 有薄夹层连续射孔层内化学堵水技术

重点解决了射流混液、平衡注入、定量替挤、定压候凝等四个关键技术的配套。

2、调整套损井区产液结构,开展套损井堵水工艺研究

3、提高堵水选井选层的准确性,确保了油井堵水效果

调剖堵水技术的现状

二、不断完善调剖工艺，拓展化学浅调剖的应用范围和规模

- 1、完善简化了调剖剂配制装置，规范调剖剂的管理，为推广应用化学浅调剖工艺技术提供了条件
- 2、化学调剖与其他措施有机结合进一步提高区块开发效果
 - (1) 调剖与细分注水相结合
 - (2) 调剖与注水井酸化相结合
 - (3) 调剖与调参换泵等措施相结合
- 3、控水措施从以井点为主，调整到以井组区块为单元的综合治理上来
- 4、停注井调剖后直接恢复注水见到了好效果

调剖堵水技术的现状

胜利油田的做法

一、深化了堵水调剖机理的研究

通过颗粒堵剂注入能力和微观封堵机理模拟实验及大平面均质、正韵律、反韵律玻璃模型堵调驱油实验，研究了孔喉尺寸与粘土颗粒粒径的配伍性，颗粒堵剂在岩心中的注入能力，颗粒堵剂微观封堵机理，注入工艺参数对封堵效果的影响等。

二、引进和推广了堵水调剖方案设计专家决策系统

引进了堵水调剖方案优化设计的PI、RE和RS专家决策系统，并在结合油藏特征修改有关参数的基础上，对胜坨油田的22个主力注水开发单元进行决策，优选了整体调剖单元及调剖工作量，优化了调剖方案。另外，根据多轮次调剖技术发展的需要，引进FD-充满度决策技术，判别充分调剖的程度。

调剖堵水技术的现状

三、形成了胜利油田的主导堵剂系列

四、进行了堵水站的配套改造

五、发展了堵水调剖防污解堵配套技术

六、开展了多轮次充分调剖技术研究和“2+3”提高采收率
技术先导试验

七、规范了堵水调剖增油效果评价手段和方法，完善了
效果评价技术体系

八、形成了堵水调剖配套化管理技术和模式

调剖堵水技术的现状

提升发展“六大配套技术”，完善建立“经济有效的运行管理模式”

“九五”堵水调剖配套技术

四大配套技术

选井、选层决策技术

堵剂应用配套技术

注入工艺配套技术

效果评价配套技术

六大配套技术

“十五”堵水调剖配套技术

堵水调剖油藏决策技术

堵剂应用优化技术

注入工艺配套技术

效果评价技术

注入参数优化技术

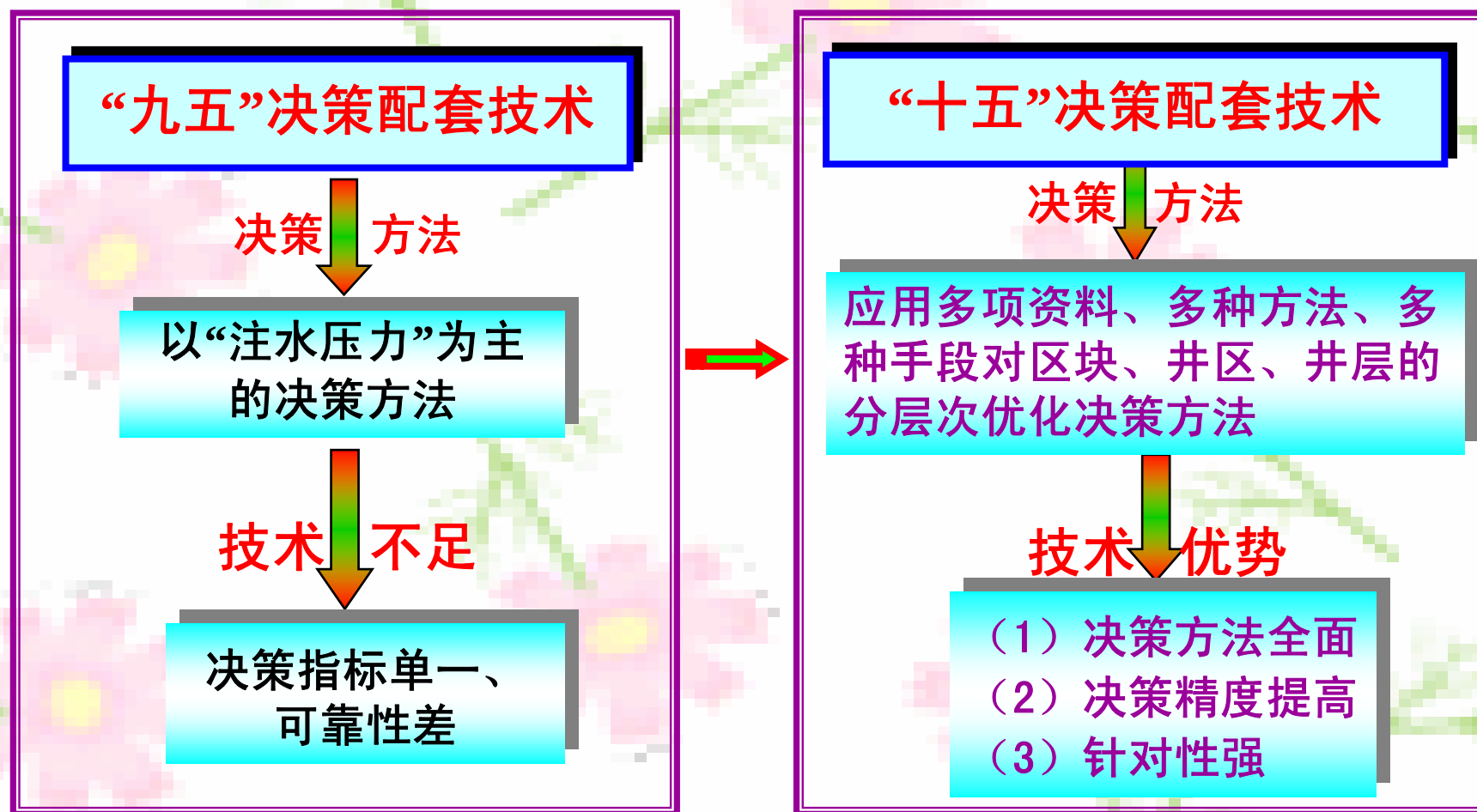
堵水调剖管理配套技术

经济有效的运行管理模式

调剖堵水技术的现状

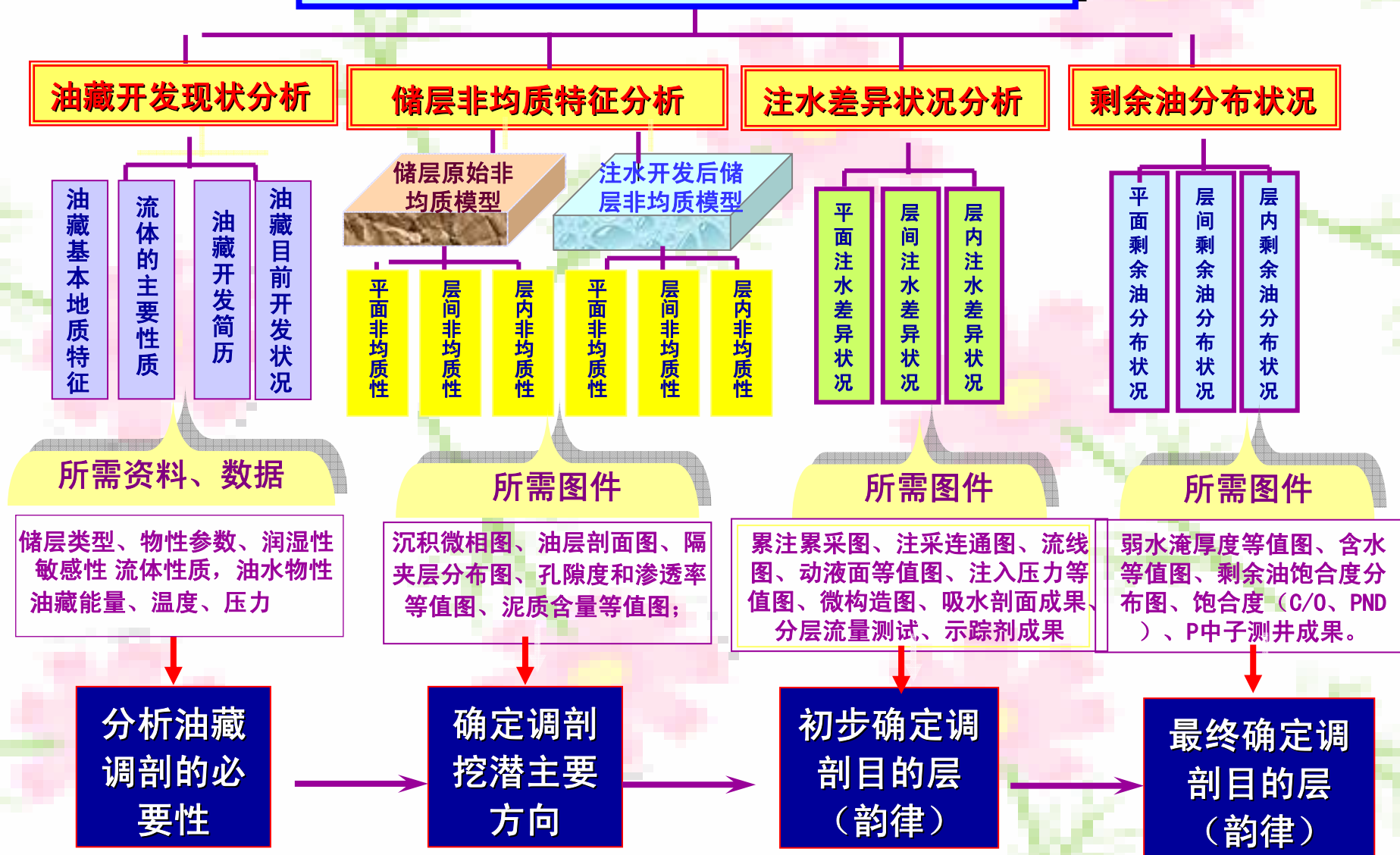
配套技术之一 堵水调剖油藏决策技术

油藏决策技术的发展与完善



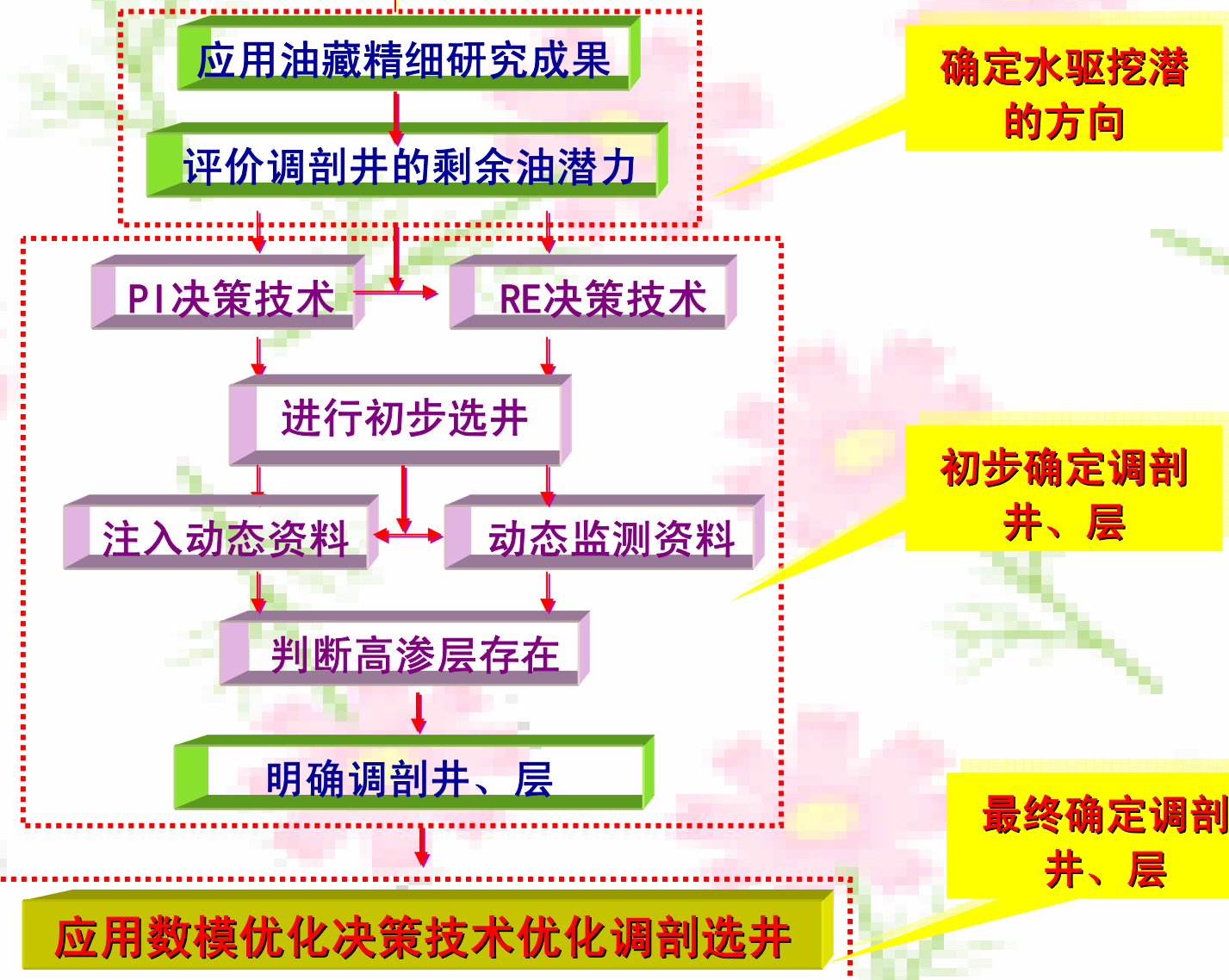
调剖堵水技术的现状

整体调剖单元优化决策过程



调剖堵水技术的现状

调剖井、层的优化决策过程



调剖堵水技术的现状

调剖前后注采调整优化决策

调剖前动态调整

完善调剖层动态注采对应程度 — 水井扩射、补孔

配合水井调剖的同时，对差油层进行增注 — 水井酸化改造

调剖后动态调整

加强调剖后产液结构调整

对严重影响注入水流线的高采液、高含水油井实施关井

根据注水改善状况，对油井进行相应的调参，换泵

完善调剖后注采关系

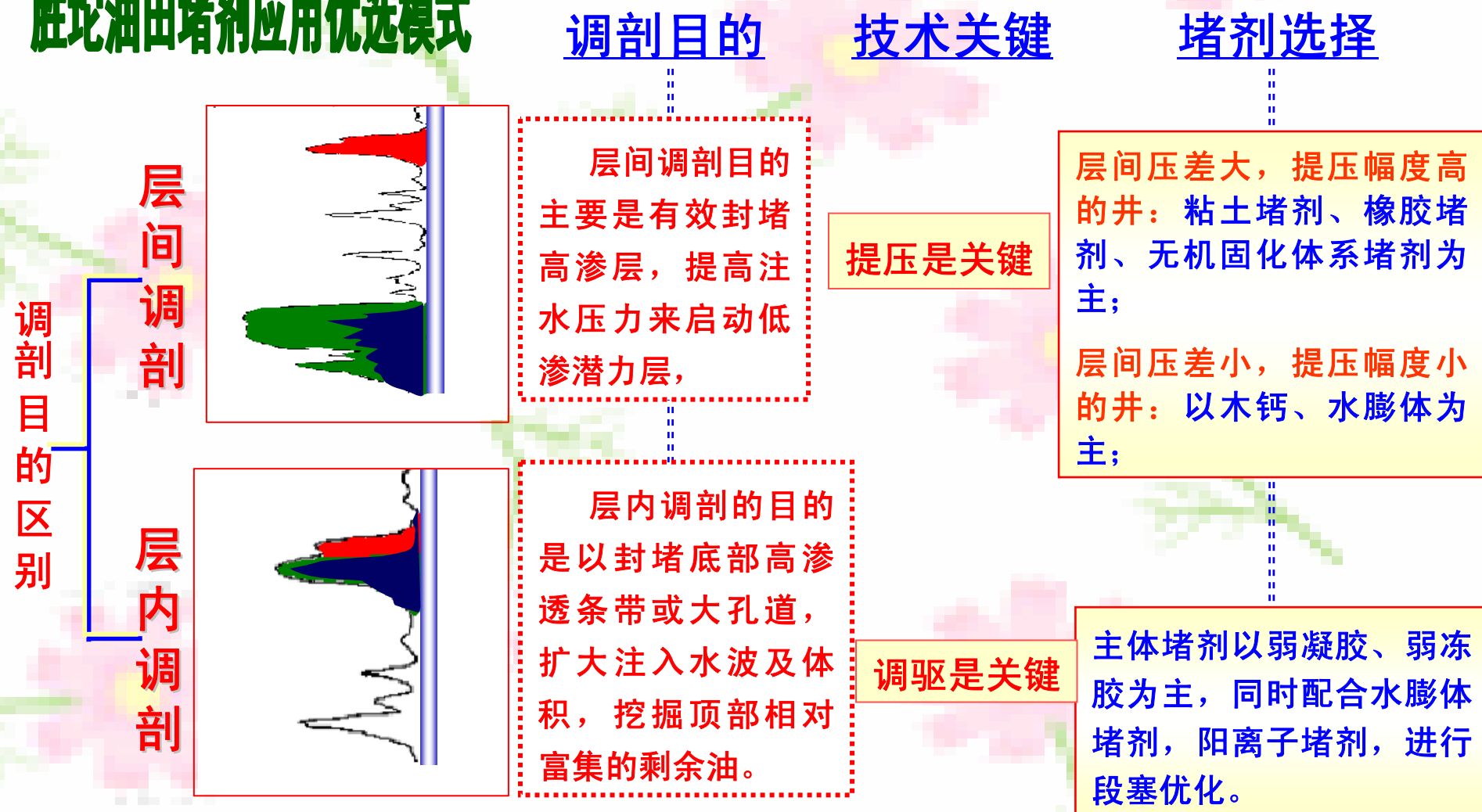
及时调整调剖后产生的平面、层间矛盾

增加调剖井注水强度，充分发挥低渗透潜力层潜力

调剖堵水技术的现状

配套技术之二 堵剂优化配套技术

胜坨油田堵剂应用优选模式



调剖堵水技术的现状

配套技术之三 注入参数优化配套技术

注入参数优化的主要研究内容

开展注入参数对调剖效果影响研究

开展大孔道识别技术研究

开展调剖压力预测技术研究

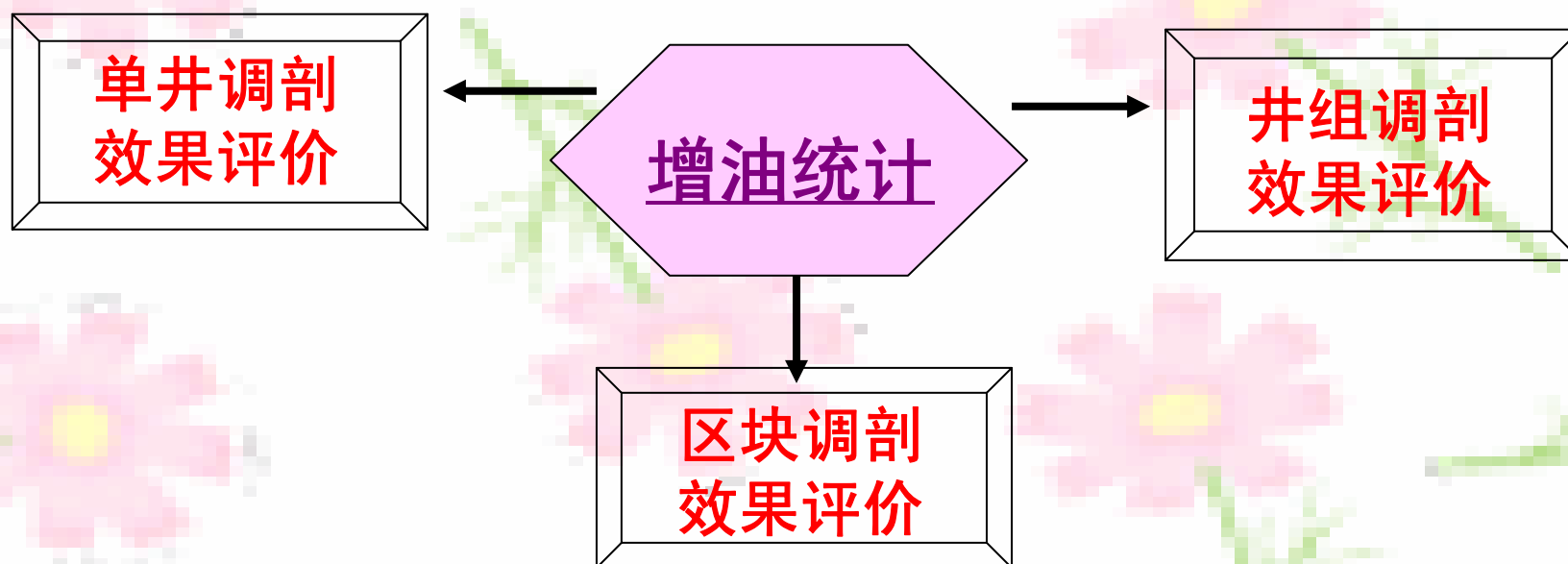
调剖堵水技术的现状

配套技术之四 注入工艺优化配套技术

配套技术之五 堵水调剖管理配套技术

配套技术之六 堵水调剖效果评价技术

形成了以增油统计为核心的全方位调剖效果评价技术



主要内容

调剖堵水技术的地位（作用）

调剖堵水技术的发展历史

调剖堵水技术的现状

调剖堵水技术的发展趋势

调剖堵水技术的攻关研究内容

调剖堵水技术的攻关研究思路

调剖堵水技术的发展趋势

➡调剖堵水技术面临的挑战

➡调剖堵水技术的发展趋势

调剖堵水技术的发展趋势

一、调剖堵水技术面临的挑战

1、水驱大孔道认识问题

Abrams等人的三分之一架桥规则表明：若颗粒粒径大于岩石孔径的1/3颗粒，将通过架桥作用在岩石表面形成滤饼，不易进入油层内部；如果颗粒粒度在 $3d_{\text{颗粒}} < d_{\text{孔隙}} < 9d_{\text{颗粒}}$ 范围，固相颗粒则易进入储层，形成内泥饼，引起较大损害，此时侵入深度一般为几厘米，只有当 $9d_{\text{颗粒}} < d_{\text{孔隙}}$ 时颗粒才易进入储层深部。目前所用的颗粒直径小则100目，大则几目，但迄今为止还未发现注不进去的现象。

注入颗粒目数 (目)	颗粒直径 (mm)	1/3 形成滤饼所需岩心 渗透率 (μm^2)	1/9 深部运移理论所需 岩心渗透率 (μm^2)
250	0.061	314	2825
200	0.074	462	4158
150	0.100	844	7490
100	0.154	1898	1.7×10^4
60	0.30	7594	6.8×10^4
40	0.45	1.7×10^4	1.5×10^5
20	0.9	6.8×10^4	6.2×10^5
10	2	3.4×10^5	3.03×10^6

调剖堵水技术的发展趋势

从上表计算结果我们不难解释在堵水调剖实践中存在的一些疑虑，为什么室内岩心的残余阻力系数达100以上弱凝胶在现场上却无法达到提高注水井启动压力的目的，为什么注入地面粘度高达上百的堵剂却不存在注不进的问题，为什么目前的优化设计软件无法精确预测措施效果等等，这些计算结果也使我们对目前油田所应用的一些理论产生质疑，达西定律在高含水油田是否适用，流体在地层中的流动是线形流还是径向流等等。

2、机械堵水面临严峻挑战

3、找水技术面临严峻挑战

4、油井选择性堵水问题

调剖堵水技术的发展趋势

5、厚油层层内剩余油挖潜技术急待完善和提高

深部调剖、调驱技术作为厚油层层内剩余油挖潜的一项重要措施在“九五”以来得到迅速发展。但目前的研究大多局限于调驱剂的研制，而关于该技术的调驱机理，剪切、降解、吸附等因素对交联反应的影响，交联体系动静态交联反应区别，交联体系与地层适应性、配偶性，凝胶的在多孔介质中的流变特性和优化设计技术等方面的研究则较少，而这些研究的欠缺使我们产生许多疑问：处于流动状态下地下交联体系在地层条件能否交联，能交联多少，对大孔道的封堵能力究竟如何，运移速度到底多大等一系列疑问，这些问题如果得不到圆满回答将直接制约该项技术的推广应用。

5、特高含水期调剖堵水效果逐渐变差的原因和对策

油田开发进入特高含水期以后，调剖堵水措施的效果逐渐变差，如何认识目前的效果变差的原因，探索特高含水期调剖堵水的做法，提高调剖堵水的效果非常重要

调剖堵水技术的发展趋势

二、调剖堵水技术的发展趋势

1、高含水水驱油田油藏精细描述技术研究

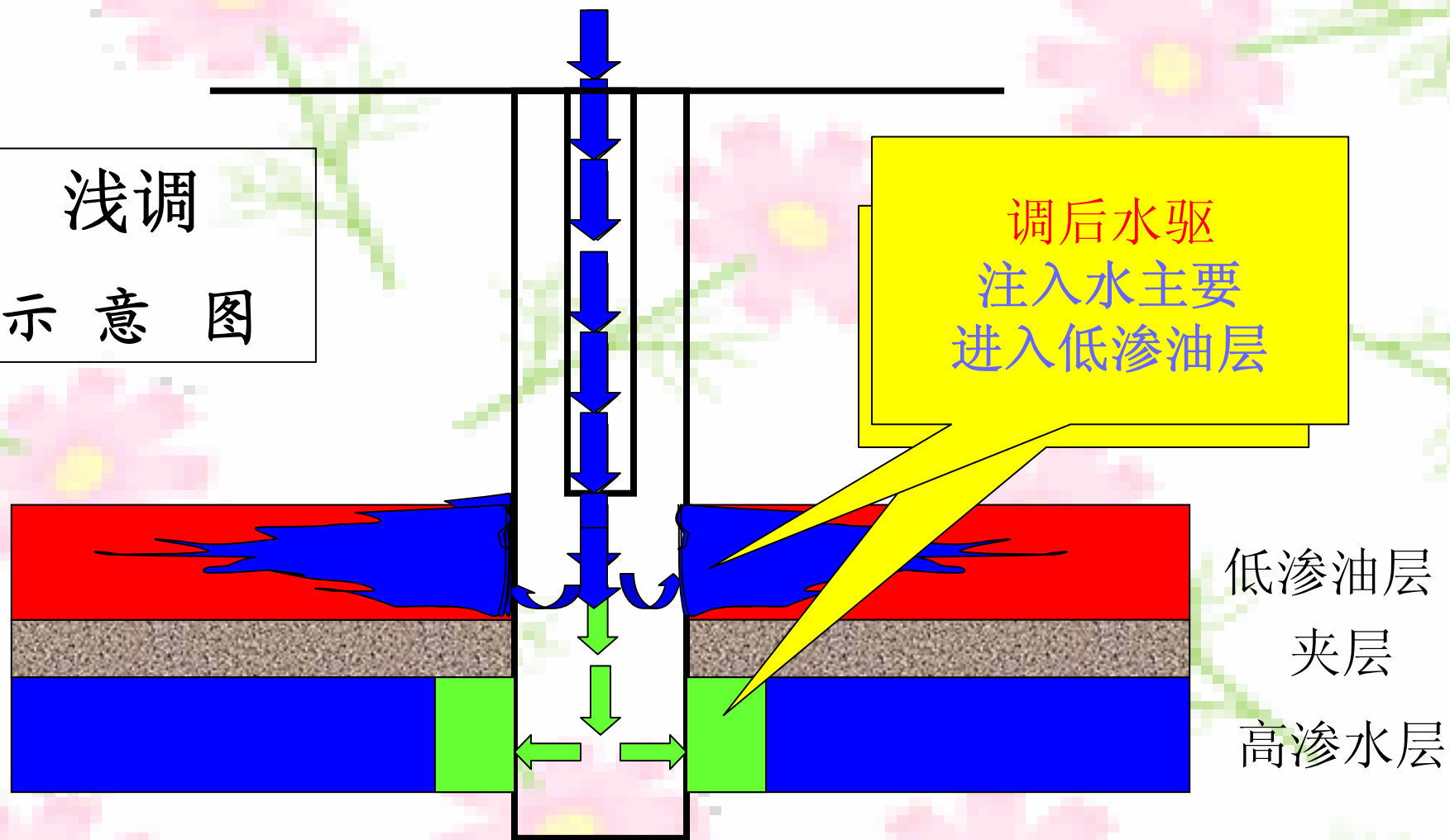
综合利用沉积微相与单井储层评价技术、生产动态分析和油藏数值模拟等研究成果，识别水驱大孔道、高渗透带，认识目前油藏剩余油分布状特点，提高高含水期增产措施的针对性。

2、厚油层深部调剖调驱技术

尽管深部调剖、调驱体系的研究仍处于起步阶段，许多问题还没有得到解决，但不可否认该技术将对高含水期老油田改善水驱效果提高波及效率具有相当重要的意义。一方面加强现有交联体系的研究和评价工作，另一方面应转变思路研制新型交联体系。在深部调剖、调驱技术研究过程中，还应着重加强封堵大孔道和深部调驱相结合研究力度，不能因片面追求深部调剖而忽略了封堵大孔道的必要性。

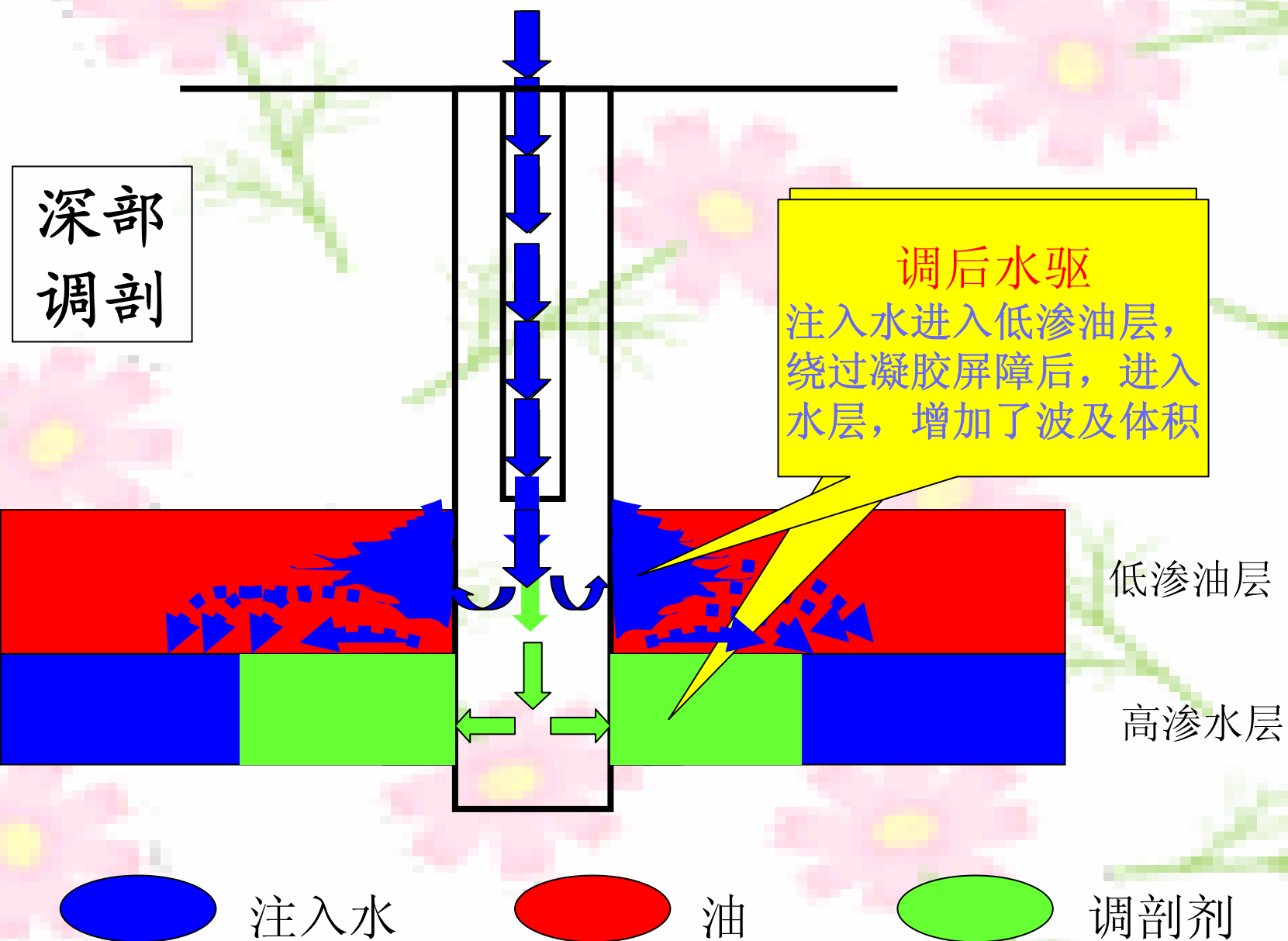
调剖堵水技术的发展趋势

浅调
示意图

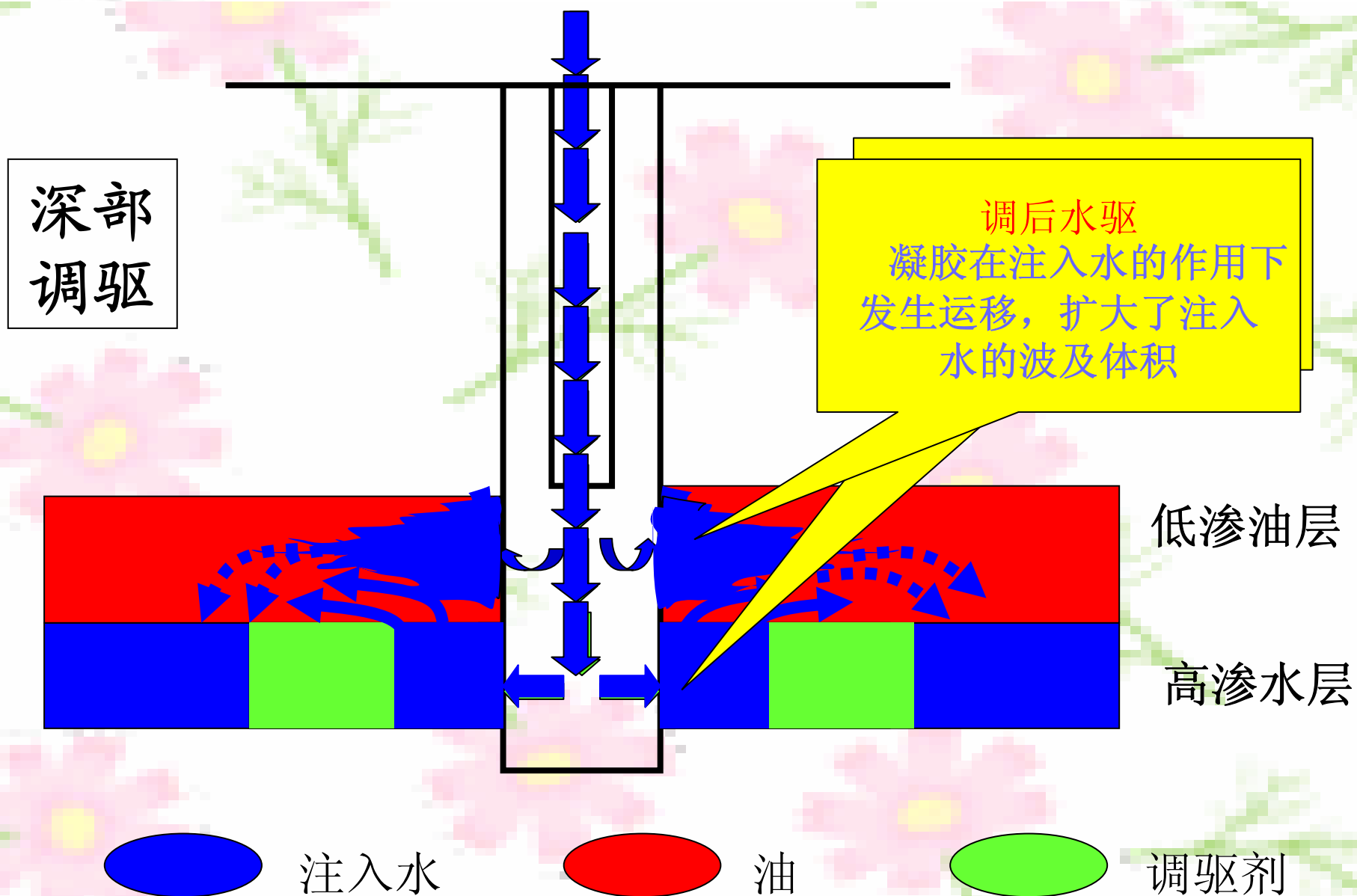


● 注入水 ● 油 ● 调剖剂 ● 夹层

调剖堵水技术的发展趋势



调剖堵水技术的发展趋势



调剖堵水技术的发展趋势

3、重复调剖技术研究

一方面应加强重复调剖的潜力评估，另一方面应加强低成本实用技术的研究和先导性实验工作，作好技术储备工作。

4、裂缝堵水调剖技术

5、调剖剂适应性筛选和不同类型油藏堵水调剖技术适应性筛选

筛选出适合不同油田应用的堵水调剖剂和配套的堵水调剖技术。

6、整体调堵与三次采油相结合技术。

重点发展深部调剖与聚合物驱配套技术和封堵水驱大孔道与三元复合驱配套技术，提高三次采油潜力。

调剖堵水技术的发展趋势

7、生产井选择性堵水技术。

研究综合利用堵剂的选择性作用和选择性进入能力，实现笼统注入条件下的选择性堵水。

8、特高含水期调剖堵水方法

目前在堵剂配方、性能评价、工艺参数优化等方面开展了大量研究，但调剖堵水的前期地质研究较少，而加强地质与工艺的结合是提高措施效果的保证。

有必要针对特高含水期储层的地质特征和剩余油的富存状态，开展调剖堵水措施的堵剂放置、段塞组合等工艺研究，提高该阶段的调剖堵水效果。

主要内容

调剖堵水技术的地位（作用）

调剖堵水技术的发展历史

调剖堵水技术的现状

调剖堵水技术的发展趋势

调剖堵水技术的攻关研究内容

调剖堵水技术的攻关研究思路

调剖堵水技术的攻关研究内容

(1) 调剖堵水的适应性评价。分析调剖堵水的现状，弄清影响调剖堵水效果的主要因素，从而弄清调剖堵水的技术适应性。

(2) 特高含水期改善调剖堵水效果的工艺方法研究。研究堵剂放置位置、堵剂用量、堵剂段塞组合优化及调剖堵水与其他水动力学方法的协同效果研究，形成针对特高含水期的调剖堵水方法。

(3) 理论提升及矿场应用研究。在前面研究的基础上建立特高含水期调剖堵水的理论和配套的工艺方法，并开展特高含水期调剖堵水的矿场应用，包括油藏筛选、注入井筛选、工艺优化、实施方案编制、效果评价等。

主要内容

调剖堵水技术的地位（作用）

调剖堵水技术的发展历史

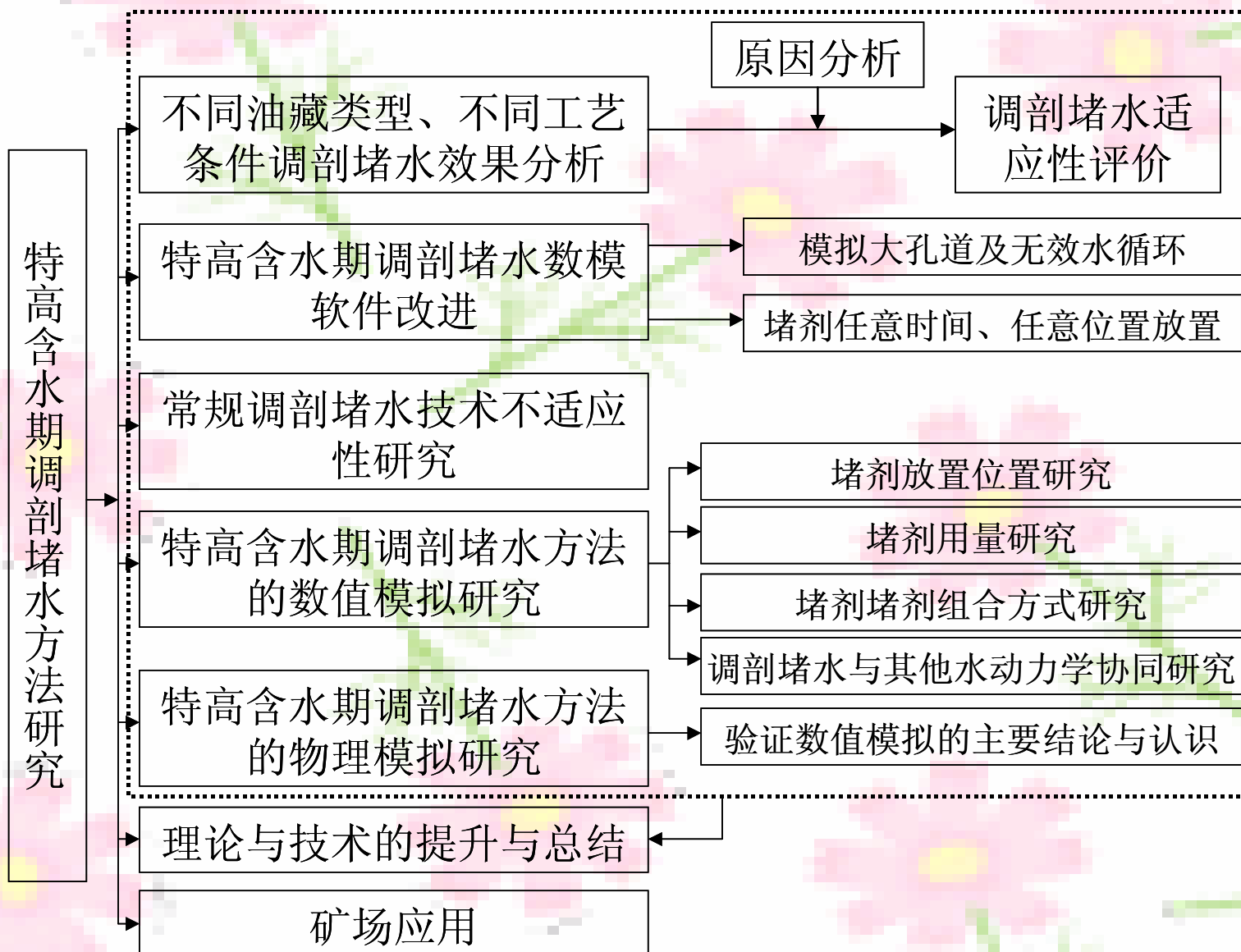
调剖堵水技术的现状

调剖堵水技术的发展趋势

调剖堵水技术的攻关研究内容

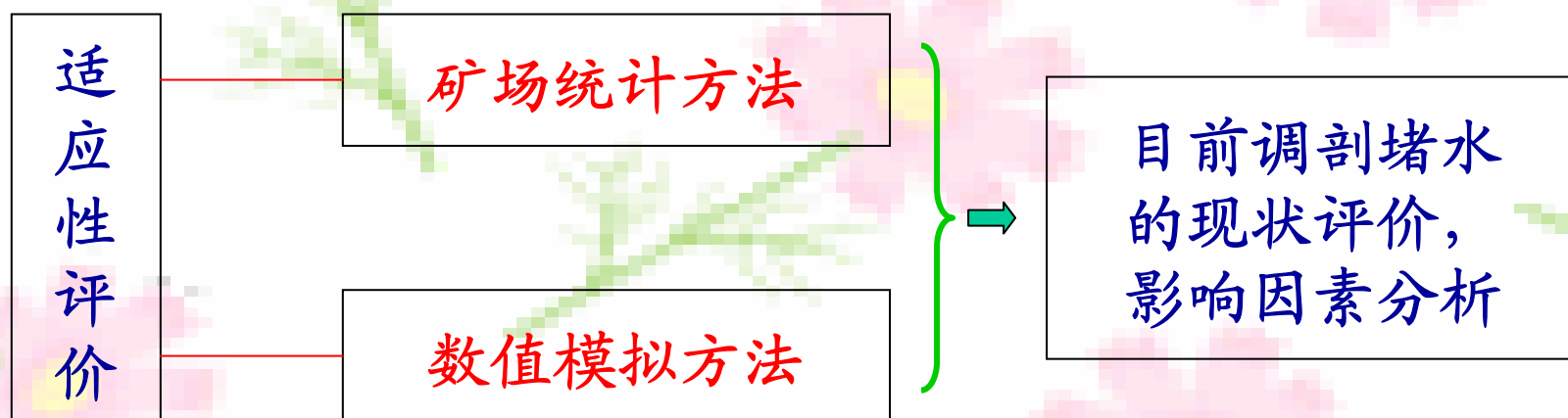
调剖堵水技术的攻关研究思路

调剖堵水技术的攻关研究思路



调剖堵水技术的攻关研究思路

1、调剖堵水的适应性评价研究



(1) 矿场统计方法

按河流相正韵律油藏和三角洲反韵律油藏、分高含水和特高含水两个阶段统计调剖堵水的效果。分析油藏韵律特征、渗透率非均质性、原油粘度、含水率、累积注采强度、堵剂类型、堵剂用量等参数及封堵方式对调剖堵水效果的影响，评价不同类型油藏调剖堵水的现状及其主要原因，从而评价调剖堵水的技术适应性，包括地质基础、开发状况和工艺条件等。

调剖堵水技术的攻关研究思路

仍基于黑油模型，满足封堵后液流转向的需要

(2) 数值模拟方法

A. 调剖堵水数值模拟软件功能的改进

通过动态修改渗透率的方法，对水驱数模软件进行改进，以实现以下几个方面的功能：

① 各模拟时间步内根据各网格的水淹状况动态修改各网格的渗透率，以反映储层参数随含水率的变化，从而模拟大孔道、优势通道的动态形成过程和无效水循环的变化特征，为模拟特高含水期调剖堵水的效果奠定基础。

② 通过设置封堵时间和封堵位置开关，实现开发过程中任意时刻、任意位置渗透率的动态修改，以满足在不同时间、不同位置放置堵剂的需要。

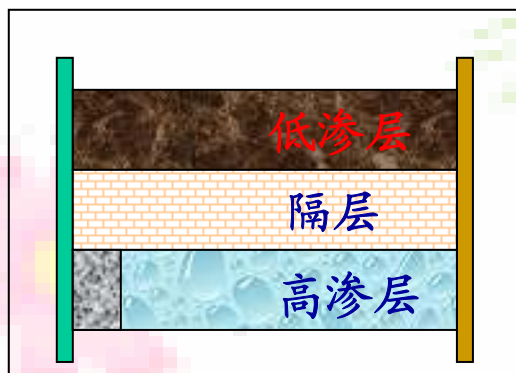
调剖堵水技术的攻关研究思路

B. 特高含水期常规调剖堵水措施的不适应性研究

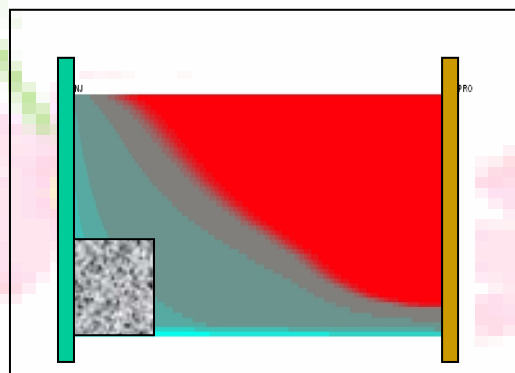
① 分别建立反映层间、平面和层内三大矛盾的概念模型，利用改进的数模软件模拟不同储层条件下开发过程中剩余油的形成特征和无效水循环的状况。

② 利用改进的数模软件模拟特高含水期三大矛盾控制条件下常规调剖堵水的效果，结合储层条件和剩余油分布特征评价调剖堵水的不适应性。

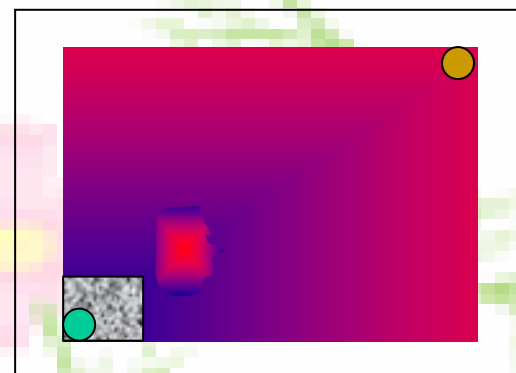
层间矛盾



层内矛盾



平面矛盾



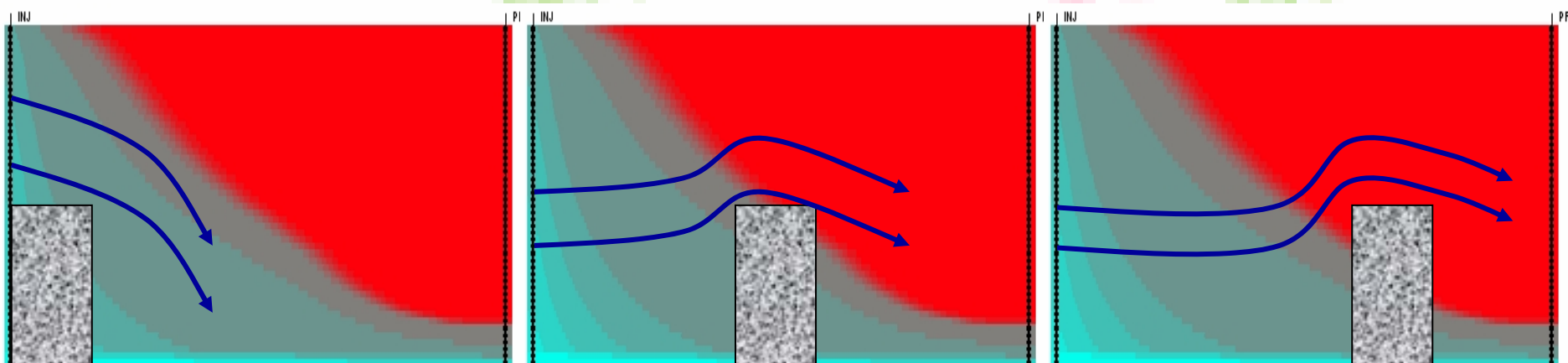
调剖堵水技术的攻关研究思路

2、特高含水期改善调剖堵水效果的工艺方法研究

(1) 数值模拟研究

① 堵剂放置位置研究。

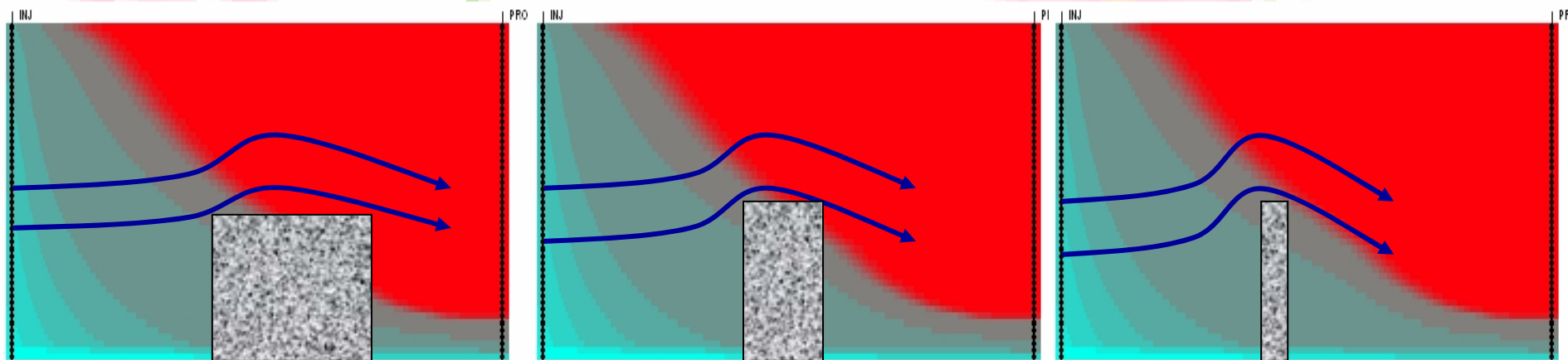
根据前面的概念模型，将堵剂放置在剩余油相对富集区的前、中、后等位置，模拟特高含水期调剖堵水的堵剂放置位置对措施增油降水效果的影响及扩大水驱波及体积情况。然后，结合剩余油的分布特征，总结出堵剂放置的最佳位置。



调剖堵水技术的攻关研究思路

② 堵剂用量优化

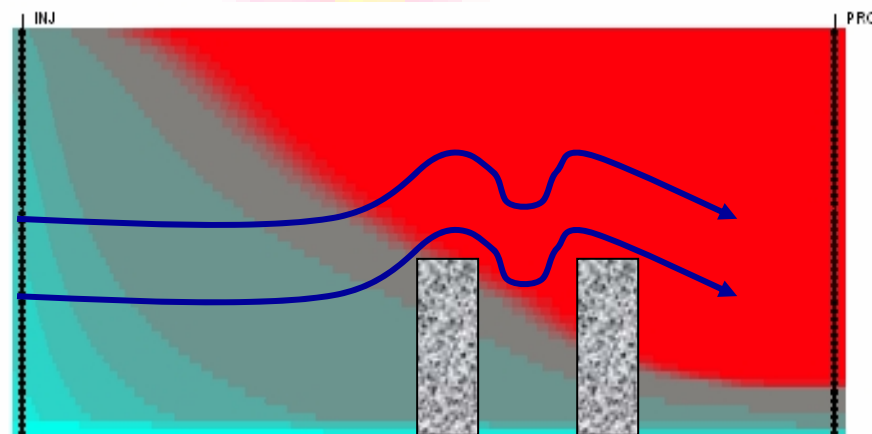
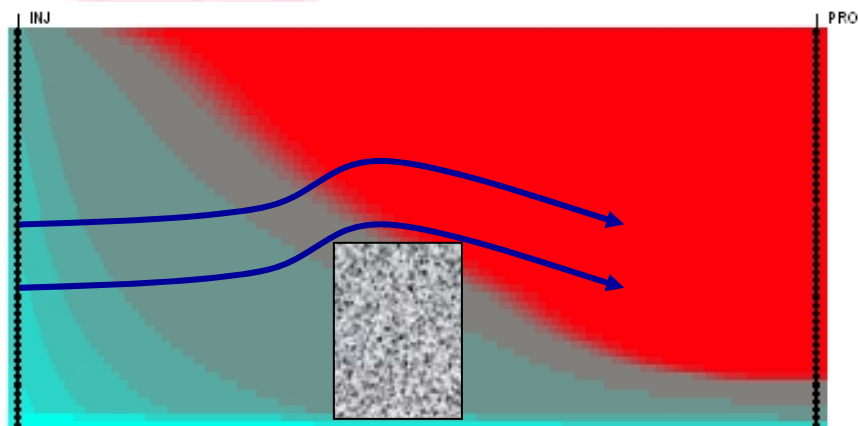
根据前面的概念模型，模拟特高含水期调剖堵水的堵剂用量对措施增油降水效果的影响及扩大水驱波及体积情况，结合孔道发育情况总结出不同地层条件的最佳堵剂用量。



调剖堵水技术的攻关研究思路

③ 堵剂段塞组合优化。

根据前面的概念模型，模拟特高含水期调剖堵水的堵剂组合方式对措施增油降水效果的影响及扩大水驱波及体积情况，包括堵剂段塞数目组合、各段塞强度组合、各段塞大小组合等。通过此研究，总结出在不同非均质地层、不同剩余油分布特征条件下，堵剂的组合方式。



调剖堵水技术的攻关研究思路

④ 调剖堵水与其他水动力学方法的协同效果研究。

根据前面的概念模型，模拟特高含水期调剖堵与提液（包括提液实机、提液强度等）、调剖堵水与产液结构调整（包括产液结构调整的可行性、产液结构调整的幅度）等水动力学方法结合的效果，从而评价调剖堵水与水动力学方法的协同作用。

通过前面三项的研究，可以建立起针对不同非均质类型、非均质程度、大孔道发育状况、剩余油分布特征的调剖堵水工艺方法。通过第四项的研究，可以为特高含水期改善调剖堵水效果的提供配套的方法。

调剖堵水技术的攻关研究思路

物理模型只起
验证作用。

(2) 物理模拟研究

① 开展大型平板模型的平面非均质调剖物理模拟研究。设置一个一注四采的五点井组平面模型，并在某方向上设置一个高渗透条带，模拟堵剂放置位置、堵剂用量和堵剂组合方式对调剖堵水效果的影响，并用可视化系统将调剖前后水驱波及状况的改变描述出来。

② 开展大型剖面模型的层内非均质调剖物理模拟研究。设置一个一注一采的正韵律厚油层剖面模型，模拟堵剂放置位置、堵剂用量和堵剂组合方式对调剖堵水效果的影响，并用可视化系统将调剖前后水驱波及状况的改变描述出来。

调剖堵水技术的攻关研究思路

③ 开展纵向无窜流的两层层间非均质调剖物理模拟研究。设置一个一注一采的层间非均质模型，模拟堵剂放置位置、堵剂用量和堵剂组合方式对调剖堵水效果的影响。

④ 开展平面非均质条件下，调剖堵水前后压力分布特征研究。利用多个测压点的大型平面非均质平板模型，研究调剖堵水前后各测点压力特征，并将压力特征与油水流动特征结合起来，分析调剖堵水打破定势流动而驱动弱势区原油的机理。

⑤ 研究上述各种条件下，压力分布特征、剩余油分布特征及调剖堵水前后流体转向流动的特征，分析特高含水期大孔道、优势渗流通道对压力场的影响、不同调剖堵水方法对压力场的破坏特征和相应的油水运动规律，进一步分析特高含水期调剖堵水的作用机理。

调剖堵水技术的攻关研究思路

3、理论提升及矿场应用研究

(1) 特高含水期调剖堵水理论与技术的提升、总结

通过上述研究，总结出特高含水期调剖堵水的新理念、新的工艺方法，为矿场实际应用提供理论依据。包括特高含水期调剖堵水的地质基础（油藏适应性）、最佳井位的筛选，最佳封堵位置、最佳堵剂用量、堵剂段塞组合方式等工艺设计方法，调剖堵水与其他水动力学方法的协同效果等。

——针对大孔道发育特征和剩余油富存状态，总结出相应的调剖堵水方法的模式。

(2) 矿场实践

选取一个特高含水期油田，根据形成的新的技术思路和工艺方法，开展矿场调剖堵水试验，力争形成生产力。

调剖堵水技术的攻关研究思路

👉 技术指标

- (1) 建立特高含水期调剖堵水的相关理论，形成适合于特高含水期调剖堵水的新技术方法；
- (2) 矿场实施20井次以上，措施成功率达到90以上，有效率超过80%；

👉 技术关键

- (1) 特高含水期调剖堵水的适应性评价；
- (2) 特高含水期调剖堵水数值模拟软件的改进；
- (3) 特高含水期调剖堵水相关理论的建立；
- (4) 特高含水期调剖堵水物理模拟及可视化描述。

调剖堵水技术的攻关研究思路

进度安排

年份	序号	工作内容	试验规模及应达到的指标	起止时间 (月-月)
05	1	调剖堵水的适应性评价	统计分析5个以上的区块，近年来的调剖堵水效果，评价分析调剖堵水的现状及原因，提出改善调剖堵水效果的初步对策。	2005年5月 ~ 2005年12月
05	2	调剖堵水数模软件改进	对水驱数模软件进行改进，能实现模拟大孔道、优势通道的动态形成过程和无效水循环的变化特征及开发过程中任意时刻、任意位置渗透率的动态修改，以满足在不同时间、不同位置放置堵剂需要的功能。	2005年5月 ~ 2005年12月
06	3	常规调剖堵水的不适应性评价	模拟特高含水期三大矛盾控制条件下常规调剖堵水的效果，结合储层条件和剩余油分布特征评价调剖堵水的不适应性	2006年1月 ~ 2006年6月

调剖堵水技术的攻关研究思路

年份	序号	工 作 内 容	试验规模及应达到的指标	起止时间 (月-月)
06	4	特高含水期调剖堵水方法的数值模拟研究	模拟堵剂放置位置、堵剂用量、堵剂组合方式对调剖堵水效果的影响，并模拟调剖堵水与其他水动力学措施效果的协同作用。要求一方面有对比数据，另一方面要有相关图形的说明。	2006年7月 ~ 2006年12月
06	5	特高含水期调剖堵水的物理模拟研究	通过部分物理模拟研究，验证特高含水期调剖堵水的有关机理和理论。要求模拟工程可视化。	2006年7月 ~ 2006年12月
07	6	特高含水期调剖堵水的矿场试验	开展3个区块20井次以上的调剖堵水矿场试验工作。要求措施成功率达到90以上，增油降水效果总体上较目前方法有明显提高。	2007年1月 ~ 2007年6月
07	7	矿场实施效果分析评价、成果总结和报告编写	总结出特高含水期调剖堵水的新理念、新的工艺方法，并提升相关理论，编写出相应的成果报告。	2007年7月 ~ 2007年12月

主要内容

调剖堵水技术的地位（作用）

调剖堵水技术的发展历史

调剖堵水技术的现状

调剖堵水技术的发展趋势

调剖堵水技术的攻关研究内容

调剖堵水技术的攻关研究思路

可能存在的问题

可能存在的问题

👉 调剖堵水适应性评价过程中，由于以前工作的不到位，许多措施井的设计不合理，施工不够规范，效果评价方法的多样性等，致使参数、设计、效果不对应，很难找出定量的规律。

👉 概念模型中，如何反映出符合特高含水期的大孔道、剩余油分布特征很难，这样对堵剂放置位置、用量优化等工艺参数的研究困难。这样，有可能针对剩余油富存方式和大孔道特征，直接建立相应的模型进行不同堵调方式的模拟。问题是如何建立这种模型？

👉 物理模拟涉及工作量大、投入费用大，可能只能有重点地开展部分实验，以验证数值模拟的结果。

👉 矿场实际区块应用时，地质研究能精细到什么程度，剩余油分布研究是否准确，将直接影响方案设计和效果。

The background of the image features several pink flowers with yellow centers, each with five petals, connected by thin green stems. The flowers are scattered across the white background, with some appearing more prominent than others.

敬请批评指正!