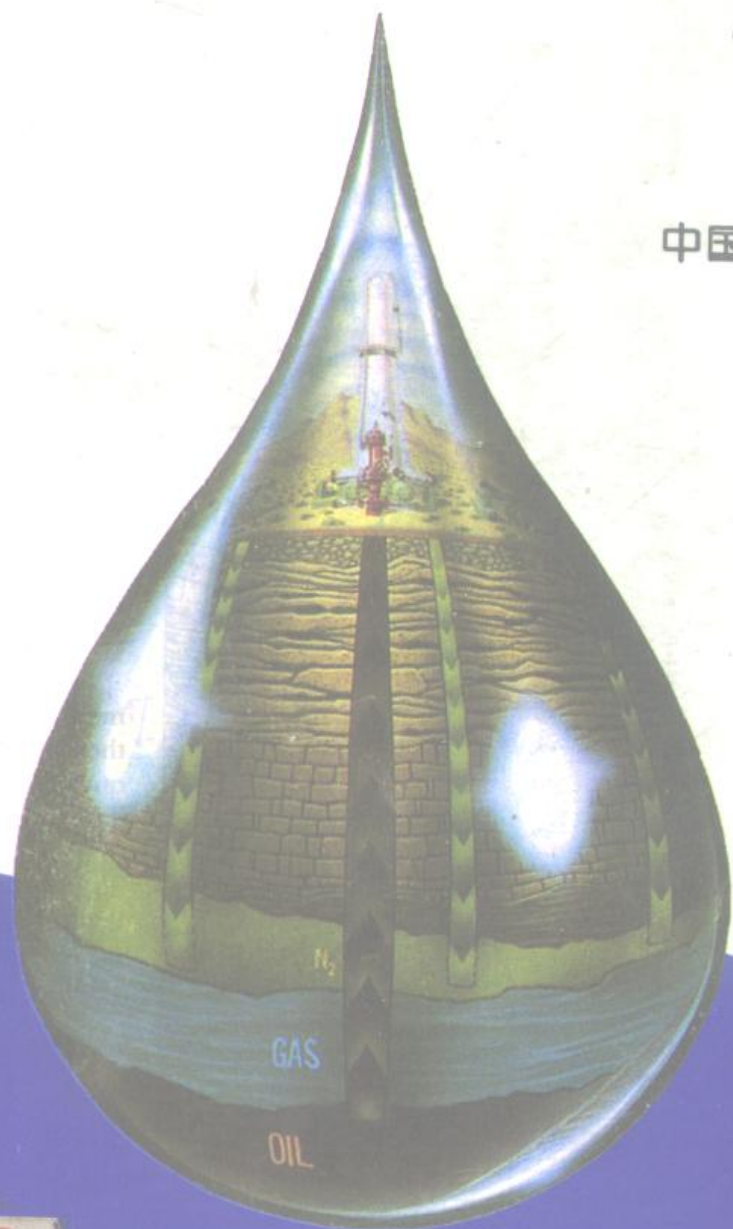


THE DEVELOPMENT TECHNIQUES OF THE LOW PERMEABILITY RESERVOIRS

低渗透油田开发技术

— 全国低渗透油田开发技术
座谈会论文选

中国石油天然气总公司开发生产局



石油工业出版社

北京)
8-53

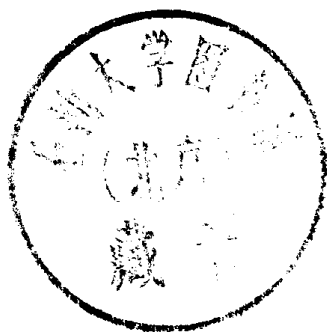
登录号	085444
分类号	
种次号	

THE DEVELOPMENT TECHNIQUES OF THE
LOW PERMEABILITY RESERVOIRS

低渗透油田开发技术

——全国低渗透油田开发技术座谈会论文选

中国石油天然气总公司开发生产局 编



石油工业出版社

(京) 新登字 082 号

内 容 提 要

我国陆上已开发地质储量中低渗透储量约占 10%，已探明未动用储量中有一半以上属低渗透储量。近年来，全国各油区在低渗透油田的开发中积累了丰富的经验，完善了配套的工艺技术，出现了一批优秀的技术成果。本书分综述、典型实例、工艺技术和综合研究四大部分共计 33 篇论文，全面展示了我国开发低渗透油田的技术成果和典型经验。这些成果和经验既有一定的理论水平，又具有实用和推广价值，对提高我国低渗透油田的开发水平将起到推动作用。

图书在版编目 (CIP) 数据

低渗透油田开发技术：

全国低渗透油田开发技术座谈会论文选 /

中国石油天然气总公司开发生产局 编

—北京：石油工业出版社，1994.6—

ISBN 7-5021-1248-0

I. 低…

II. 中…

III. 低渗透油田—油田开发—座谈会—文集

IV. TE348—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)

石油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 25 $\frac{3}{4}$ 印张 648 千字 印 1—3000

1994 年 6 月北京第 1 版 1994 年 6 月北京第 1 次印刷

定价：25.00 元

前 言

全国陆上已开发地质储量中低渗透储量约占 10%，已探明未动用储量中有一半以上属低渗透储量，因此，开发动用好低渗透油田对实现我国陆上油田“稳定东部、发展西部”的战略方针，对石油工业的稳定发展具有重要的现实意义。

近年来，全国各油区在低渗透油田的开发中积累了丰富的经验，完善了配套的工艺技术，涌现出了一批经济、高效的开发低渗透油田的好典型。1993 年 11 月在西安召开的全国低渗透油田开发技术座谈会上，比较系统地总结交流了开发低渗透油田的研究成果、技术经验和成功的典型。

为使这次会议交流的经验和技术成果尽快地在全国得到推广，加快开发已探明未动用低渗透储量，进一步提高我国低渗透油田开发水平，我们从会议材料中精选出 33 篇论文，编汇成这本书，委托石油工业出版社编辑出版，希望此书的出版能够进一步促进我国低渗透油田高水平、高效益的开发。

由于编辑时间较短，如有错漏之处，敬请批评指正。

中国石油天然气总公司开发生产局

1994 年 4 月

目 录

第一篇 综述

- 对低渗透油田开发的几点意见····· (3)
- 对低渗透油田的特殊规律和改善开发效果的初步认识····· (5)
- 安塞特低渗透油田开发实践····· (25)
- 胜利油区低渗透油田的开发实践与认识····· (43)
- 国外低渗透油田的开发····· (63)
- 低渗透油田的开发特征与配套技术····· (80)

第二篇 典型实例

- 沈 95 断块深层低渗高凝油藏整体改造、综合治理效果与做法····· (91)
- 濮城油田沙三上⁵⁻¹⁰深层低渗油藏的高速高效开发····· (109)
- 裂缝型低渗透砂岩油田开发技术····· (121)
- 枣园油田孔二段低渗高凝油藏开采技术····· (132)
- 改善火烧山油田开发效果试验研究····· (150)
- 四川磨溪气田雷-1 低渗气藏改造效果分析及评价····· (157)
- 胜利油区低渗透油田配套改造工艺技术····· (166)
- 发展配套工艺技术, 开发文东低渗油田····· (184)
- 青海尕斯库勒油田 E₃ 异常高压低渗透深层油藏开发的基本做法····· (194)
- 榆树林油田提前注水开发试验初步成效····· (200)
- 深化油藏研究, 坚持开发程序, 努力提高安塞特低渗透油田开发水平····· (205)
- 改善牛心坨低渗高凝稠油藏开发效果与做法····· (231)
- 依靠科技进步, 提高低渗透油藏开发水平····· (241)
- 拖市地区新沟嘴组下段低渗透油藏储层特征及对策····· (248)

第三篇 工艺技术

- 大庆长垣外围低渗透低产油田开采配套工艺技术····· (259)
- 低渗透油藏整体改造的配套技术与实施效果····· (269)
- 鄯善特低渗透油田主体采油工艺技术····· (278)
- 应用“总体压裂优化设计、实施与评估”技术开发低渗油藏
——水力压裂工艺近期技术应用的成功经验····· (288)
- 大庆西部外围低渗透油田采油工程配套技术应用与设想····· (303)
- 安塞特低渗透油田的“短、单、简、串、小”地面工艺流程····· (311)
- 胜利油田压裂液研究与应用····· (323)
- 运用适用配套技术, 高效开发安塞特低渗透油田····· (329)

第四篇 综合研究

- 低渗透油藏的完井工艺····· (339)
- 低渗透油层渗流机理研究····· (350)

砂岩微观孔隙模型在安塞油田水驱油机理研究中的应用.....	(364)
水力裂缝参数对采收率影响的研究.....	(370)
地应力、天然裂缝的测量及在低渗透油田开发中的应用研究.....	(381)

第一篇
综 述

对低渗透油田开发的几点意见

北京石油勘探开发科学研究院 秦同洛

低渗透的界线是什么，不同地区不同的石油工作者有着不同的意见。在前苏联一般以100mD作为低渗透的界线。在美国和加拿大不同的人有着不同的意见。有的以100mD作为界线，有的则认为50mD是划分低渗透的界线。尽管有这样的差别，有一点可能是每个人都同意的，即低渗透油井很难在不进行增产措施以前依靠油井的自然产能来获得经济有效的工业产量。到底以多少作为低渗透的界线，我们期望这次会议上能取得大多数人的共识，划出一个合理的界线来。

低渗透油田之所以能够进行开发，与油藏中存在的裂缝系统有关。不存在裂缝系统的低渗透油藏一般是不能经济有效地开发的。在低渗透油藏中有时会出现一些相对高产的井（但寿命都不长），这是因为该井正好钻遇裂缝系统之故。我们在这方面是有很丰富的经验的。例如：陕北延长统和四川的大多数气田，这已是众所周知的事实。因此低渗透油藏开发研究的重点应不是油藏渗透率的分布和变化，而是油藏中裂缝系统的发育及其分布。

控制裂缝发育的地质因素很复杂。从大的方面来说裂缝的成因可以分为两大类：一是由于构造应力而发展的裂缝系统。这类裂缝系统大都出现明显的方向性，有时可能有两组互相共轭的裂缝出现（一般都以 60° 左右的角度相切割）。裂缝的主要伸展方向受地应力分布状况的控制，并常常与主断层成平行的方向。这类裂缝研究的比较多。国内外都已发表过大量的文献，是大家比较熟悉的一种裂缝系统，其规律性也比较清楚，研究的方法也比较成熟。

值得注意的是还有一些与局部构造无关而与区域构造应力有关的裂缝系统还没有引起更多的注意。在我国油田开发中也有这类裂缝系统的例子。例如：四川川中地层缝莱一桂花一大石地区的大安塞油层，其中有的裂缝延长几十公里，完全超出局部构造的范围。自贡地区的裂缝分布也有这种现象。自贡天然气开采的结果使附近盘隆场等构造中的气藏压力大大降低，而自贡地区估计累计探出的气量已远远超过单一构造的储气能力。这里完全有可能有超越局部构造范围的区域性裂缝系统存在。再如陕北地区延长统地层也曾发现过2口井在某一方向上相互干扰的现象。这里的延长统地层倾角小于 1° 。这种明显的方向性的干扰，只能是由于区域应力有关的区域裂缝系统的存在。

除了与构造应力有关的裂缝系统而外，还有一类由于非构造应力而造成的裂缝系统。这类裂缝往往没有明确的方向性，而且与前者相比分布比较均匀，例如：沉积过程中出现的沉积缝、成岩过程中出现的收缩缝等等。这类裂缝研究的还很少。没有多少文献可供参考。但是这类裂缝（或微裂缝）的出现对油井以至油田的生产能力有着很大的影响，需要加强研究。例如：陕西中部气田中马₂气层，陕北安塞油田的延长统油层。前者在岩芯中可以观察到有蜘蛛网状的裂缝；后者在生产和注水中的动态显示出有微裂缝系统的存在，否则它既不能出油也不能吸水。我怀疑大庆朝阳沟油层中也有这类裂缝存在。其主要的证据是迄今为止在这里仅在1~2口井中发现暴性水淹，而生产动态与岩芯分析的资料相比也有裂缝（至少是微裂缝）系统存在的现象。

不能把裂缝的存在局限于碳酸盐类储层，碎屑岩类储层中同样有裂缝系统存在，特别是致密低渗透层由于它的脆性更强出现裂缝的可能性也更大。由于地层的塑性随埋深而增加，裂缝发育的情况也随之而减弱。但是有一种情况需要注意，即在异常高压储层中由于围岩压力降低储层中原来存在的微裂缝处于比张开状态，这时井口产能较高。随着储层压力降低储层中的微裂缝逐步闭合，井口生产能力也随之而降低。这种情况在中外很多油田的开发过程中都可以观察到。例如：中原的文东油田虽然也是一个埋深较大的致密低渗透油田；但是由于异常高压的特点油井具有一定的生产能力，而且注水井的吸水能力也较高。对于这类油藏的开发，保持油藏压力是必要的。有的油藏中微裂缝的降压闭合是不可逆的，有的是可逆的。不可逆的情况下更要注意压力保持。因此对于异常高压油田的注水总有一个恰当的时间。如果过分强调把异常压力降到正常压力后再开始注水有时会发现注水能力急剧降低的现象。因此开发异常高压的低渗透致密油藏时要选好注水的时间和油藏压力应该保持的水平，这是一个重要的关键问题。

如果低渗透油藏中裂缝发育程度较差，可以用水力压裂来造成人工裂缝。裂缝的方位一般为垂直于油层的最小主应力。特别是要进行注水时井位布置与地应力的关系需要很好安排，使注水驱油时的面积扫油系统处于优化的状态。因此低渗透油藏开发中对储层地应力分布状况要进行仔细的研究。

水力压裂过程中主要的控制问题是控制压裂裂缝的缝高。在一些薄互层条件下中间的薄夹层可能起的作用不大；但对油层上下主要的顶板和底板一定要注意不要压穿，否则将会大大影响压裂的效果。控制裂缝缝高需要进行储层岩石和顶板底板岩石强度的测量，及其地应力的分布状态的了解。还需要对于裂缝的起缝延伸等情况进行力学机制的研究，作好压裂设计。最近几年美国石油公司开发了落矶山盆地中的一些低渗透油田主要也是由于压裂技术的发展特别是裂缝缝高控制技术发展的结果。在这方面我们的工作还处于起步的状态，还要加强这方面的研究。

最后还要谈谈低渗透油田开发中的注水问题，低渗透油田一般不仅是低孔、低渗，往往也是含油饱和度较低的油藏。对于这类油藏注水开发能取得多大的经济效益是值得认真研究的一个问题。注水中包括了水源建设、注入水的净化处理、高压泵站和输配水系统的建设、采出液体的脱水以及污水处理等等一系列的工程建设和相应的操作管理费用。用注水来提高采收率所增加的油量与上述各项费用相比到底有无经济效益，效益的大小如何是值得很好探讨的一个问题。由于储层岩石含油饱和度低，水驱油的效果不会那么理想，驱油效率也不会很高。反之，用枯竭式开采油田采出程度与含油饱和度的关系就不那么密切。这在一些特低渗透油田的开发中更是如此。例如：美国西得克萨斯著名的低渗透的 Spalaberry 油田的注水开发是一个不成功的例子。注入水实际上沿着裂缝窜流而基质中的油基本不受影响。因此开发低渗透油田，特别是一些渗透率低于 10mD 的油田，要不要注水是一个非常值得研究的问题（当然在研究中还要考虑油层中裂缝分布的情况）。

世界上有不少低渗透油藏，我国也有相当数量的这类油藏。如何把这类油藏投入经济有效的开发，在过去若干年中我们积累了不少经验，希望这次能够总结这些经验并向前推进一步。为此，我提供上面这些意见供参考。

祝会议取得成功。

对低渗透油田的特殊规律和改善开发效果的初步认识

中国石油天然气总公司油田开发专家组 李道品 罗迪强

一、前言

我国投入开发的低渗透油田的储量，占总动用储量的比例越来越大，这些油田中的相当部分处于低产低效状态。而未动用石油地质储量中，低渗透油田储量占的比例更大，已开发的低渗透油田如何进一步改善开发效果，未动用的低渗透油田储量如何尽快有效地投入开发，这对保持我国石油工业持续稳定发展，有着十分重要的意义。

在低渗透油田开发方面，长期存在着一个困扰我们的问题，就是投资大与经济效益差的矛盾。从开发实际需要看，对低渗透油藏应该采用较密的井网和多种先进的技术，但这样一来，建设投资大，原油成本高，经济效益差。这个矛盾问题一直难以调和解决。

由于多种因素影响，过去许多油区对低渗透油田的作法和中渗透油田基本一样，采用中等密度的井网部署和相似的工艺技术措施。这样作法，在开发初期还勉强可以过去，几年、特别是油井见水后，矛盾愈来愈突出，相当多的油、水井，注不进，采不出，形成低产低效的半瘫痪状态。此外，还有相当数量的低渗透油田储量难以动用和开发。

“八五”以来，各油田在调整和改善低渗透油田开发效果方面作了大量工作，并见到了比较好的效果。目前国家对原油价格已初步放开，这些都对低渗透油田开发提供了十分有利的条件。

但即使是原油价格完全放开以后，低渗透油田开发也仍然还是存在着实际需要和经济效益之间的矛盾问题，需要认真研究和解决。

最近一个时期，专家组到吉林、大庆、华北、长庆等油田，以及西安石油学院和廊坊分院等单位作了一些调查研究工作，在听取各有关单位研究成果、实践经验的基础上，对低渗透油田开发规律和改善开发效果提出几点初步认识和建议。

二、认识和掌握低渗透油田的特殊规律 是开发好低渗透油田的前提

低渗透油田，其所以产量低，是因为其油层渗透率低，这是人所共知，不言而喻的一般规律。但要真正了解和掌握低渗透油田开发的主动权，还必须对影响低渗透油田开发效果几个主要因素和特殊规律，进一步作深入研究。

1. 低渗透油田一般连续性差，采收率与井网密度关系特别密切

生产实践和理论研究均证实，随着井网密度的增加，原油采收率将有不同程度的提高。国内外专家学者都有大量论著，不必赘述。

这里特别强调的是：与中高渗透油田相比，低渗透油田的井网密度对原油采收率的影响更大。主要是因为低渗透油田，一般砂体分布范围小，油层连续性差，井距过大时，水驱控

制程度太低。

例如大庆对萨尔图油田作过解剖分析，当井网密度为每平方千米10口时，主力油层水驱控制程度可达96%，非主力油层（中低渗透层）只有68%（图1）。北京石油勘探开发科学研

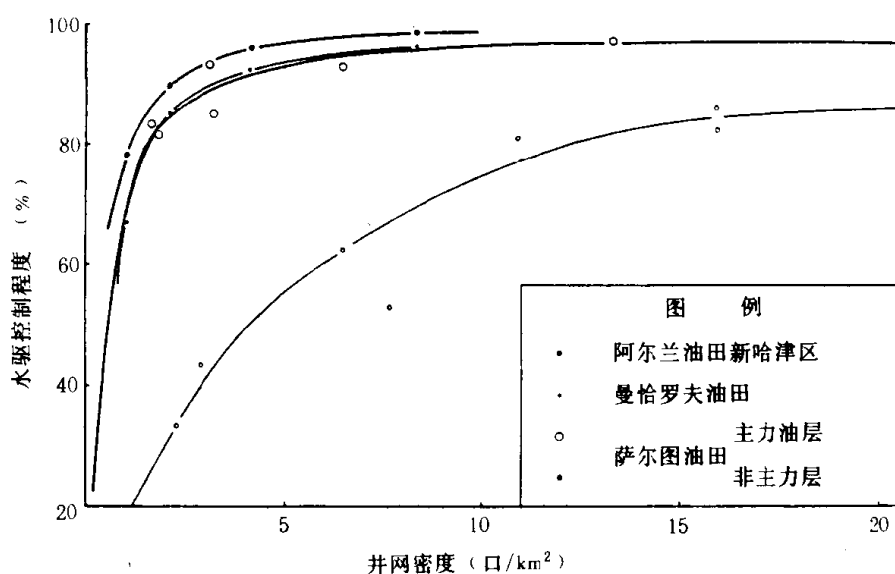


图1 油田水驱控制程度与井网关系曲线

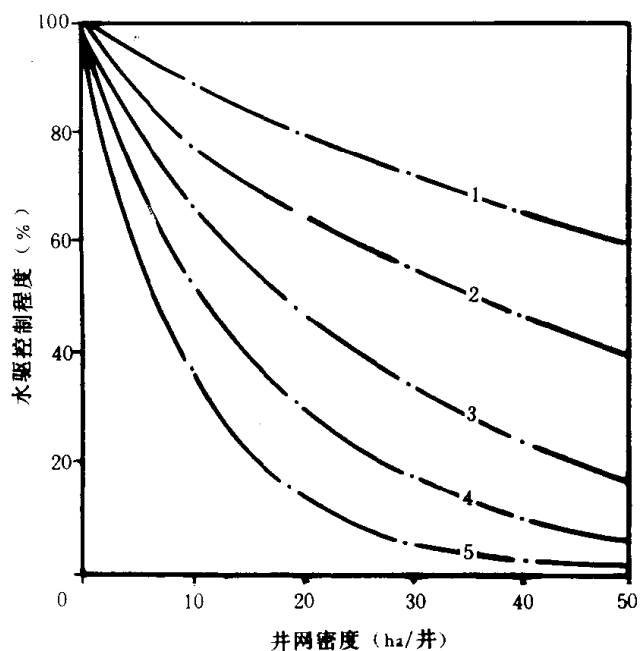


图2 不同类型油田水驱控制程度与井网密度关系

究院曾分析我国37个开发单元井网密度与水驱控制程度的关系，也得出相似的结果。井网密度为每平方千米10口时，一类油田水驱控制程度可达88.7%，三类油田为76%，五类油田只有36.7%，见图2。

美国JPT编辑部于80年代初，汇总了有代表性专家的意见，他们认为密井网可以改善不连续油田的注水开发效果，提高采油速度和采收率。其中Van Everdingen提出，密井网是解决不连续性油田采收率低的主要方法，最佳井网密度是每个单元（一注一采）小于8ha（有的达到每平方千米25口井，井距200m）。

吉林省油田管理局研究了各油田井网密度与波及系数和采收率的关系，规律也很明显（见表1）。

表1 吉林油区井网密度与采收率关系数据表（小数）

井网密度 (口/km ²)	红岗油田		木头油田		新立油田		乾安油田	
	波及系数	采收率	波及系数	采收率	波及系数	采收率	波及系数	采收率
6	0.744	0.373	0.426	0.206	0.329	0.164	0.317	0.113
8	0.801	0.402	0.528	0.255	0.434	0.217	0.422	0.151
10	0.837	0.420	0.600	0.290	0.513	0.256	0.502	0.187
12	0.867	0.433	0.653	0.315	0.573	0.287	0.563	0.201
14			0.694	0.335	0.621	0.301	0.611	0.219

这里不是研究井网密度的具体定量界限；而是强调，在确定低渗透油田开发方案和井网密度时，要充分考虑油层的连通性和水驱控制程度。

2. 低渗透油层存在“启动生产压差”现象，渗流阻力和压力消耗特别大

低渗透油田除过众所周知的渗透率低、孔隙度小外，据国内外许多学者（如西北大学邢世祥教授等）观察研究，其孔隙结构特征差异很大，主要点如毛管压力曲线都为细歪度型，细喉峰非常突出，粗喉峰很不明显，喉道半径均质很小，一般都小于 $0.05\sim 2.0\mu\text{m}$ ，排替压力很高，一般都大于 $0.5\sim 5.0\text{MPa}$ ，这些特征对液体正常渗流规律产生严重影响。

国内外一些专家通过精细的实验发现，低渗透油层具有非达西型的渗流特征。

西安石油学院闫庆来教授等用渗透率为 $16.2\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 的人造岩芯作单相水渗流实验，结果如图3所示。

由图中看出，在低渗流速度下，曲线呈非线性关系，随着流速的提高，过渡为线性关系，流速继续提高，则转变为紊流非线性关系。该曲线的主要特点是，直线段延伸不通过坐标原点，与压力轴相交。而达西型的渗流规律是，直线渗流段延伸与坐标原点相交。这就是通常所称的，低渗透储层具有非达西渗流特征。直线延伸与横坐标交点的压力梯度，称作“拟初始压力梯度”，一般简称为“启动压差”。低渗透层所表现的非达西渗流特征，初步分析主要是因为孔喉细小（孔喉半径一般小于 $1\sim 2\mu$ ）比面增大，微观孔隙结构影响增强，当液体渗流时，固液界面上的表面分子力和微毛管力作用强烈。

实验结果表明，启动压力梯度随渗透率的降低而增大。如图4所示。初步看来，当渗透率高于 $30\sim 50\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 后，启动压力梯度很小，而且变化十分平缓。

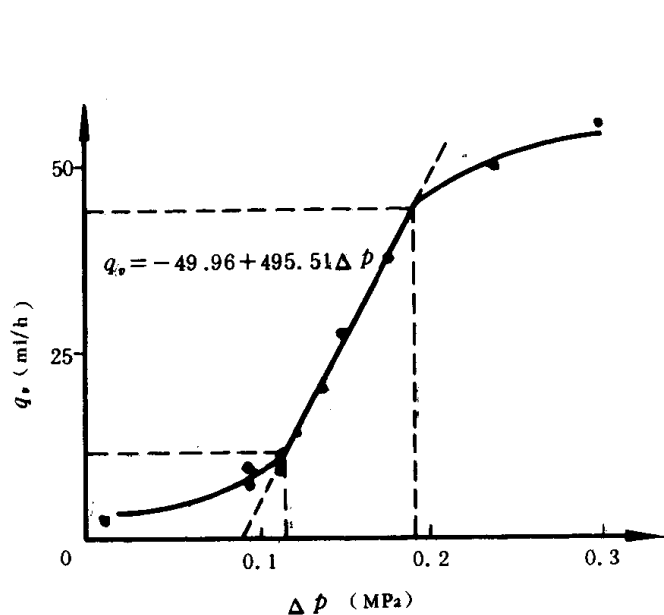


图3 单相水在低渗透岩芯中的渗流

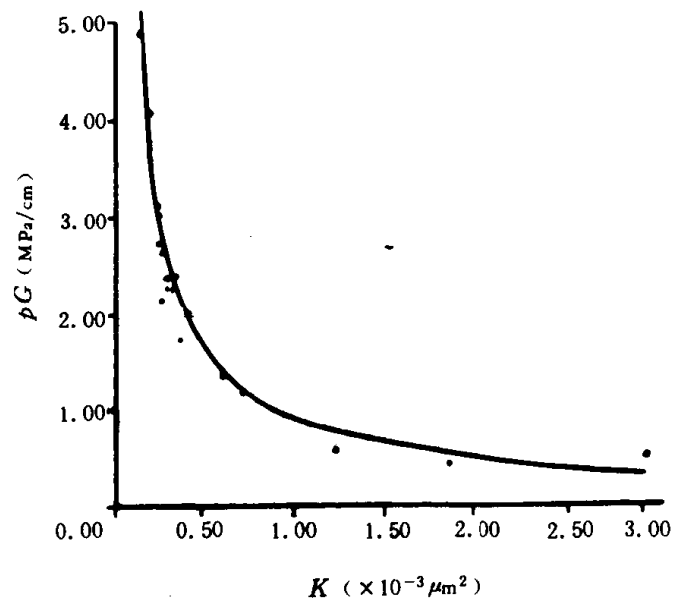


图4 启动压力梯度与渗透率关系曲线

前苏联罗马什金油田阿兹纳耶沃区的现场试验，也得出类似结果。见图5。

低渗透油层孔喉细小，渗流阻力大，并有启动压差现象，这些特点在油田开发中表现的十分明显，对注水和采油影响很大。

注水井吸水能力低，压力扩散慢，在井底附近容易形成高压带，而采油井难以见到注水效果，地层压力急剧下降，产量大幅度递减。这种现象随着油层渗透率的降低和注采井距的增大而加剧。往往容易形成所谓“注不进，采不出”的严重被动局面。

这样的油田区块相当不少。例如大庆朝阳沟油田翼部二矿地区，油层渗透率更低，平均 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，原油粘度更高，平均 $43 \text{mPa} \cdot \text{s}$ ，而井距仍然是 300m ，开发效果很差。目前注水井压力憋得很高，地层压力已接近流动压力。油井见效情况很差，有 65 口井不出油，生产水平只达到设计能力的 57% 。继续发展下去，状况还会进一步恶化。该区分年压力变化情况见表 2。

表 2 朝阳沟油田二矿地区压力数据表

井别	项 目	1990 年	1991 年	1992 年	1993 年
注水	地层压力(MPa)	14.98	18.36	19.70	20.62
	流动压力(MPa)	18.73	20.39	21.07	21.87
	注水压差(MPa)	3.75	3.03	1.37	1.25
油井	地层压力(MPa)	6.97	7.19	7.63	7.83
	流动压力(MPa)	2.31	2.7	2.05	2.1

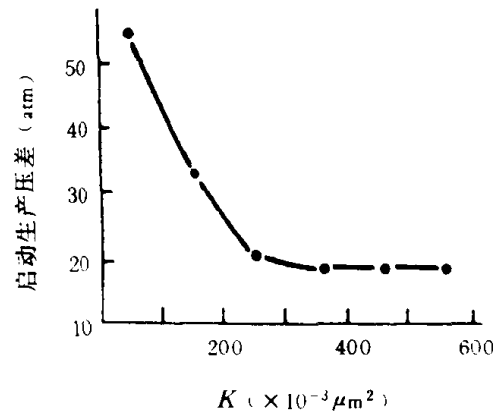


图 5 罗马什金油田油层渗透率与启动生产压差的关系

3. 低渗透油田见水后，采液和采油指数急剧下降，对油田稳产造成严重威胁

室内实验和现场生产都表明，低渗透油井存在一个普遍问题，即见水后采液和采油指数急剧下降，在生产压差不变的情况下，产液量和产油量大幅度递减。中高渗透层这种现象不太明显，甚至见水后，采液（油）指数还有上升趋势。

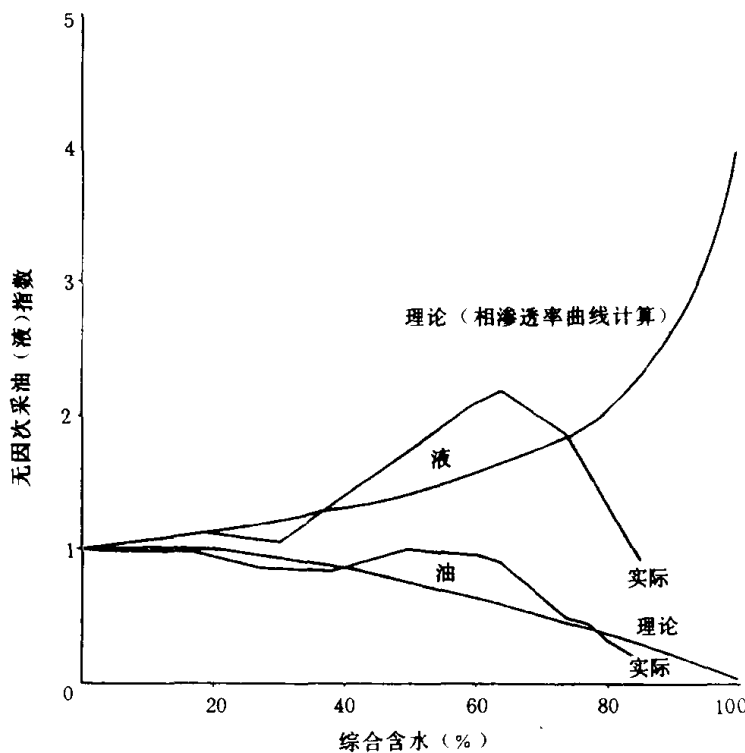


图 6-1 喇嘛甸油田无因次采油指数与含水关系曲线

造成低渗透油层见水后采液（油）指数下降的原因很多，机理复杂，现在还没有完全搞清。初步分析，主要影响因素有：油水粘度比、润湿性、粘土矿物的水敏和盐敏等。低渗透油层一般地下原油粘度比较低，油水粘度比较小，岩石表面润湿性一般偏亲水，束缚水饱和度较高；孔喉细小，容易被矿物微粒堵塞等等。

例如大庆喇嘛甸油田萨葡油层为高渗透层（平均空气渗透度为 $514 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ），含水 50% 时，无因次采液指数理论值为 1.43 ，实际为 1.76 ，无因次采油指数理论值为 0.75 ，实际为 1.0 。龙虎泡油田萨葡油层为低渗透层（ $87 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ），含水 50% 时，无因次采液油指数为 0.55 （理论值），无因次采油指数只有 0.24 （理论值）。变化曲线见图 6，详细数据见表 3。

大港低渗透油田马西深层（空气渗透率为 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ）与高渗透油田羊二庄（渗透率为 $2877 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ）对比，情况也是相类似。见图 7。

造成低渗透油层见水后采液（油）指数下降的原因很多，机理复

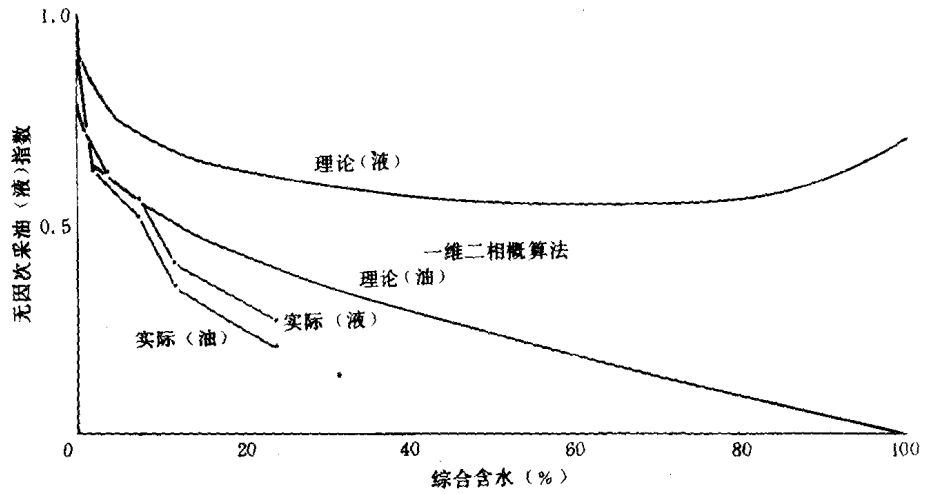


图 6-2 龙虎泡油田无因次采油(液)指数与含水关系曲线

表 3 大庆两个油田无因次采液(油)指数对比表

项目	无因次采液指数						无因次采油指数						
	含水(%)						含水(%)						
	10	30	50	70	90	100	10	30	50	70	90	100	
喇嘛甸	理论	1.07	1.22	1.43	1.78	2.71	4.5	1	0.94	0.75	0.5	0.21	0
	实际	1.07	1.05	1.76	1.97	1.0		1	0.85	1.0	0.62	0.2	
龙虎泡	理论	0.78	0.6	0.55	0.55	0.61	0.71	0.52	0.25	0.24	0.14	0.04	
	实际	0.45	0.31					0.26	0.25				

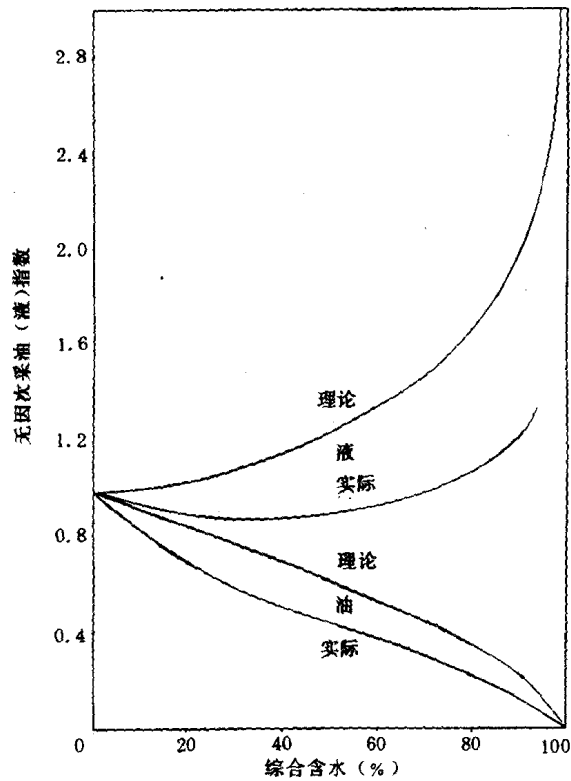


图 7-1 羊二庄油田无因次采油(液)指数与含水关系曲线

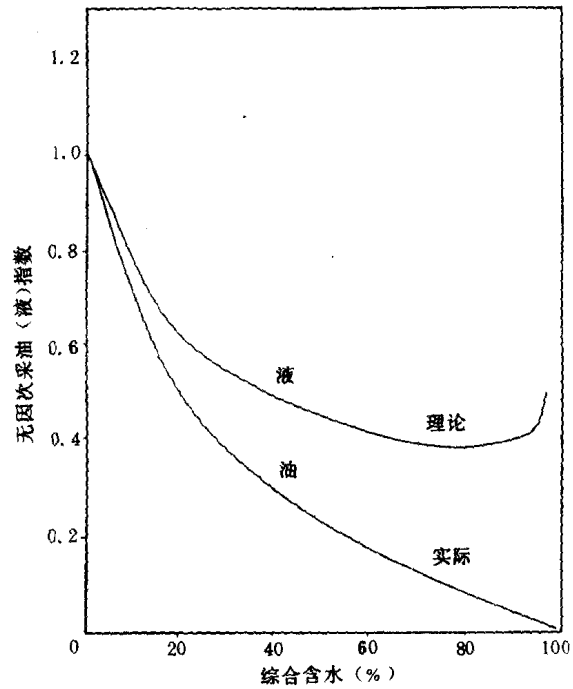
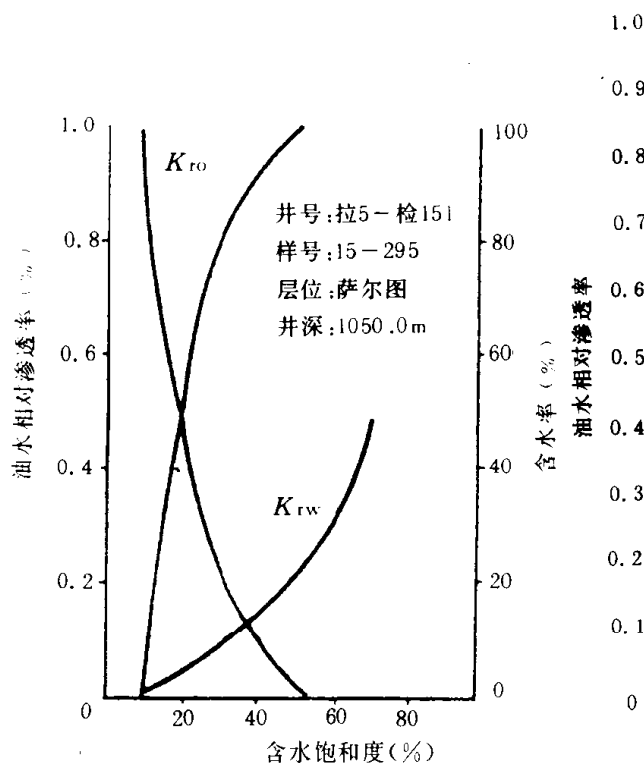


图 7-2 北大港油田马西深层开发区无因次采油(液)指数与含水关系曲线

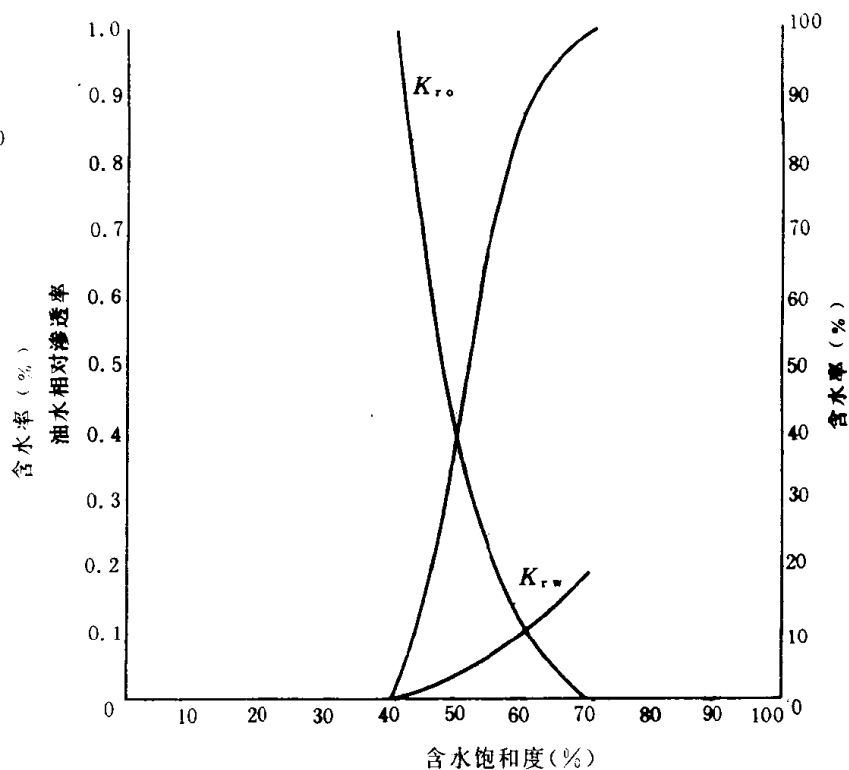
这样油层的油水相渗透曲线特征是，随着含水饱和度的增大，油相渗透率下降很快，水相渗透率上升很慢，油水两相流动范围很窄，残余油下的水相相对渗透率很小。

上述几个油田的相渗透率曲线见图 8、9，油水粘度数据见表 4。



N_w	10.4	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	55.0	65.0	70.5
K_{ro}	1.00	0.758	0.538	0.366	0.280	0.162	0.067	0.058	0.019	0.003	0
K_{rw}	0	0.009	0.021	0.035	0.052	0.073	0.100	0.129	0.214	0.352	0.454
f_w	0	16.1	38.7	50.5	57.6	63.3	67.3	70.3	79.5	89.95	100

图 8-1 喇嘛甸油田相渗透率曲线



S_w	41.3	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5
K_{ro}	1.0000	0.9000	0.7300	0.5800	0.4200	0.3300	0.2300	0.1750	0.1250	0.0860	0.0500	0.025
K_{rw}	0.0000	0.0160	0.0160	0.0260	0.0350	0.0500	0.0650	0.0800	0.0950	0.1100	0.1350	0.165
f_w	0.0	4.6	12.1	21.2	33.0	48.6	63.4	74.1	82.6	88.8	94.4	97.6

图 8-2 龙虎泡油田相对渗透率曲线

表 4 大庆、大港油田四个油田油水粘度表

油区	油田	渗透率 ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)		润湿性	地下原油粘度 (mPa·s)	地下水粘度 (mPa·s)
		空气	有效			
大庆	喇嘛甸	514	250	亲油	10.3	
	龙虎泡	87	19	亲水	2.5	
大港	羊二庄	2877	872		13.71	
	马西	10	3	亲水	0.38	

假设高渗透的喇嘛甸油田油井见水前产油量为 30t/d，低渗透的龙虎泡油田油井产油量为 10t/d，相当于喇嘛甸油田的三分之一。到含水 50% 时，都按理论曲线推算，喇嘛甸油井产液量为 42.9t，产油量为 22.5t，龙虎泡油井产液量为

5.5t，产油量为 2.4t，只相当于本井初期产油量的 24%，相当于喇嘛甸同期产油量的十分之一。可见低渗透油田产量递减之严重。

低渗透油层见水后，产液（油）指数急剧下降，这给依靠提高液量、保持稳产的作法带来很大困难。需要认真研究、全面考虑、采取多种措施，以弥补因产液（油）指数下降所造成的产量损失，延长低渗透油田的稳产年限。

4. 低渗透油田裂缝发育，注入水沿裂缝窜进现象十分严重

近来一个时期，我国发现具有裂缝的砂岩油田（主要是低渗透油田）比较多，在开发中

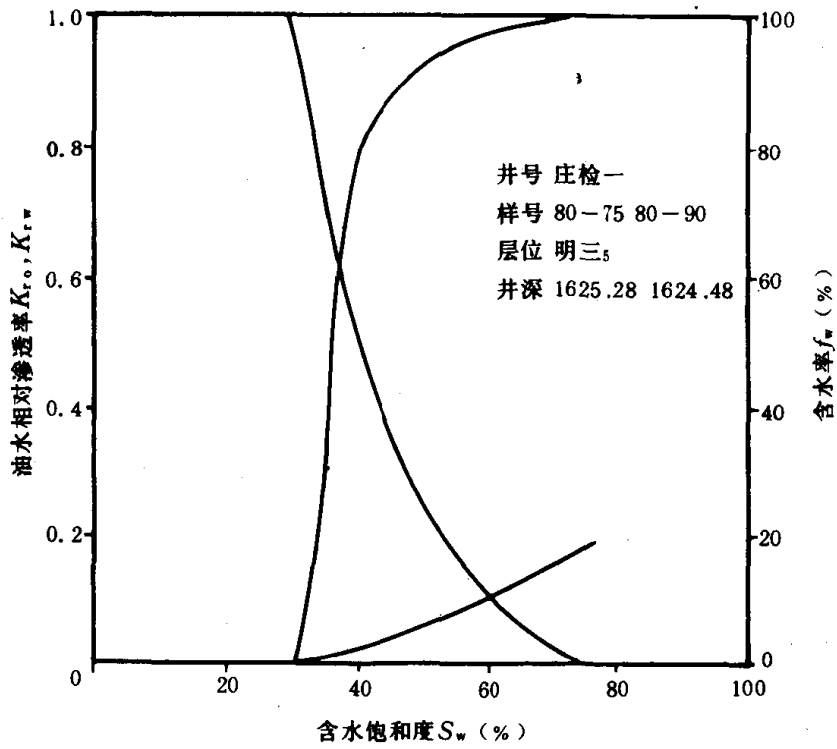


图 9-1 羊二庄油田相对渗透率曲线

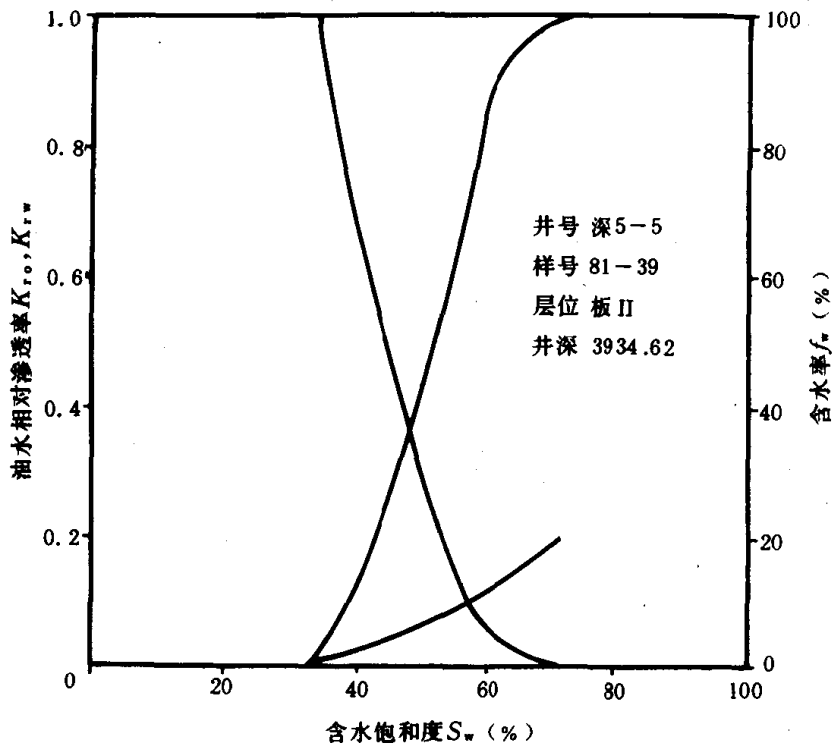


图 9-2 北大港油田马西深层开发区相对渗透率曲线

暴露出了许多新的矛盾问题，引起了大家的特别注意。

具有裂缝的砂岩油田，一般孔隙度比较小，渗透率比较低（砂岩本身）。裂缝具有双重性质的作用，一方面砂岩中的原油可以通过裂缝系统，较快地流到井底，提高油井产量；另一方面注入水也可以沿裂缝系统高速推进，使油井很快见水和水淹。

表现最为典型、突出的如新疆火烧山油田，该油田储层为上二叠系平地泉组的第2~3段，油层平均孔隙度为16%，空气渗透率为 $15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，属于低渗透油层。但由于裂缝特别发