

双河油田砂砾岩油藏

中国油藏开发模式丛书

砂砾岩油藏

双河油田砂砾岩油藏

T H E S A N D Y -
C O N G L O M E R A T E
R E S E R V O I R S I N
S H U A N G H E O I L F I E L D

李联五 等编著

北京

49
08

石油工业出版社

登录号	127525
分类号	TE349
种次号	008

中国油藏开发模式丛书

Series on Reservoir Development Models in China

· 砂 砾 岩 油 藏 ·

双河油田砂砾岩油藏

The Sandy-Conglomerate Reservoirs in Shuanghe Oilfield

李联五 等编著



石油0121661

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书是《中国油藏开发模式丛书》分类模式部分“砂砾岩油藏”的典型实例之一，是关于砂砾岩油藏开发模式方面的专著。

作者依据河南双河油田砂砾岩油藏开发的成功实践，运用十多年油田开发所积累的丰富资料，采用现代精细油藏描述技术、油层物理实验、三维数值模拟、现场试验等手段，从砂砾岩油藏主要地质特征、开发过程中驱油机理和渗流特征，以及砂砾岩油藏不同开发阶段的划分和各阶段的优化部署对策及配套工艺技术等方面，较全面地论述了砂砾岩油藏开发全过程的技术特点和基本规律，建立起了追求最佳开发效益的砂砾岩油藏地质模式、开发模式和适合砂砾岩油藏各开发阶段配套的工艺技术系列。反映了我国砂砾岩油藏开发的一个方面，为此类砂砾岩油田的开发建立了科学模式。

本书可供石油地质、油田开发、数值模拟、矿场生产岗位的科研、技术人员和石油院校有关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

双河油田砂砾岩油藏/李联五等编著.

北京: 石油工业出版社, 1997. 6

(中国油藏开发模式丛书)

ISBN 7-5021-1990-6

I. 双…

II. 李…

III. 砂岩油气田-油田开发-研究-中国-河南

IV. TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 08836 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京普莱斯特录入排版中心印刷厂排版

北京密云华都印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 14 $\frac{3}{4}$ 印张 4 插页 378 千字 印 1—3000

1997 年 5 月北京第 1 版 1997 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1990-6/TE·1674

精装定价: 55.00 元 平装定价: 40.00 元

《中国油藏开发模式丛书》

编辑委员会

主 任 周永康

副主任 谭文彬 王乃举

成 员 曾宪义 沈平平 金毓荪 张家茂
周成勋 万仁溥 刘万赋 冈秦麟

编辑组成员

组 长 金毓荪

成 员 李志勋 杨贤梅 李春如
张卫国 咸玥瑛

《中国油藏开发模式丛书》

一、总论

二、分类模式研究

多层砂岩油藏

基岩油藏

气顶砂岩油藏

常规稠油油藏

低渗透砂岩油藏

热采稠油油藏

复杂断块油藏

高凝油油藏

砂砾岩油藏

凝析油油藏

三、典型实例

序

早在1987年，王涛同志在大庆的一次会议上提出，我国的油田开发有着丰富的实践经验，需要总结一套油藏开发模式，以便对新油田开发和老油田提高水平做出指导。在此之后，中国石油天然气总公司开发生产局、科技发展局、北京石油勘探开发科学研究院组织了全国五十多名专家和数百名工程技术人员，历经八个年头，终于完成了这套《中国油藏开发模式丛书》的编写工作，现在就要出版同广大读者见面了。这是我国油田开发理论研究的系列成果，也是石油工业出版界的一件大事，值得庆贺！

《中国油藏开发模式丛书》包括总论、不同类型油藏开发模式专著和典型油藏开发实例三个部分。丛书共计40册，大约1500万字。它凝结着我国油田地质、油藏和采油工程科技人员的辛劳和智慧，是数十年油田开发实践中成功经验与失败教训的高度概括，从中可以窥见到中国式的油田开发工程的一些特色。

需要指出的是，在本书出版之前，石油科技信息研究所及有关油田曾经编纂出版了一套《国外不同类型油藏开发历程及工艺技术系列研究》成果，它是本丛书的姊妹篇，国外油田开发经验为《中国油藏开发模式丛书》的编著起到了借鉴作用。

前几年我曾经讲过一个认识，“抓产量不等于抓开发”。就是说油田开发有许多科学道理，有它自身的一些规律性，只有老老实实在地按照科学规律，不断提高新老油田的开发水平，才会有产量，也才会有更好的开发效益。我希望从事石油工作的同志，特别是油田开发工作者，能够抽时间读一读或者有选择地读读这套丛书，一定会得到不少的收益。成功和失败都是我们前进的基石，摆在我们石油工作者面前的路是宽广的，也是曲折的，让我们继续奋斗吧！

周永康
一九九一年八月

前 言

我国已开发的各类油气藏经多年的开发实践，在开发部署和工艺技术对策等方面已积累了丰富的实践经验。砂砾岩油藏储层地质特征及其开发过程的动态特征，与一般砂岩油藏有不同之处，但也有共同特征。为增强砂砾岩油藏开发决策的科学性和预见性，改善开发效果，提高开发经济效益，把开发管理从经验管理上升到科学管理的新水平，形成有针对性的开发程序和工艺技术，研究建立砂砾岩油藏的开发模式，具有十分重要意义。

《中国油藏开发模式丛书》是从合理开发油藏的角度，分析总结油藏所经历的开发历程，研究预测油田开发全过程的技术特点和规律，以期能理论化、系统化地形成一套因地制宜、获得最佳效益的开发方式，为我国同类型油气藏的开发起到指导作用。

本书以双河油田扇三角洲砂砾岩油藏为实例，在研究砂砾岩油藏储层特征、沉积模式、非均质模式的基础上，建立厚油层非均质地质模型以及相应的研究方法。运用室内试验研究和三维数模研究成果，阐述了砂砾岩油藏水驱油机理。以开发实践为依据，研究砂砾岩油藏开发全过程及其特点，总结不同开发阶段的部署和对策，对砂砾岩油藏开发模式从技术经济角度进行优化评价。最后针对砂砾岩油藏地质特征、不同开发阶段的技术要求，提出了适应砂砾岩油藏各开发阶段的配套工艺技术系列。

全书共分四章。参加编写的人员有：第一章许学康、敬国超；第二章高约友、李联五；第三章李联五、谢云龙、庞建功、柏红霞；第四章张顺元、赵善波、刘建斌、刘均齐、刘子林。全书由许学康、李联五统稿，最后由宋振宇审阅、定稿。

在本书的资料收集、编写及出版过程中，得到了有关领导、专家及同事们的支持和帮助，杨贤梅对本书进行了仔细的修改校正，在此表示衷心的感谢！

由于我们的水平有限，不妥之处恳切地希望读者给予指正。

目 录

前言

第一章 砂砾岩油藏地质特征	(1)
第一节 双河油田地质概论.....	(1)
一、区域构造背景及构造特征.....	(2)
二、油藏地质基本特征.....	(3)
第二节 砂砾岩油藏地质模式.....	(9)
一、扇三角洲沉积相模式.....	(9)
二、砂砾岩油藏储层非均质模式	(12)
三、砂砾岩油藏储层微观非均质模式	(19)
四、双河油田地质模型	(31)
第二章 水驱油机理及开采特点	(37)
第一节 砂砾岩油藏水驱油机理	(37)
一、微观水驱油机理	(37)
二、厚油层不同孔隙结构水驱油效率	(39)
三、厚油层不同韵律类型水驱油特征	(43)
四、厚油层层内不稳定夹层对开发效果的影响	(50)
第二节 油田开发全过程主要开采特点	(52)
一、油田开发全过程基本规律描述	(52)
二、油田开发阶段划分及开采特点	(67)
第三章 开发部署及开发模式优化	(93)
第一节 油田开发部署和对策	(93)
一、油藏早期评价阶段	(93)
二、开发方案部署阶段	(97)
三、开发调整阶段.....	(103)
四、油藏动态监测系统部署.....	(115)
第二节 提高采收率方法研究.....	(117)
一、水驱采收率分析.....	(117)
二、提高采收率的方法及筛选.....	(117)
三、聚合物驱可行性研究.....	(119)
四、聚合物驱试验方案部署及政策界限.....	(121)
第三节 开发模式的优化与评价.....	(128)
一、开发层系划分.....	(128)
二、注采井网格式评价.....	(130)
三、采油速度的优选.....	(132)
四、采液速度评价.....	(134)

五、合理井网密度·····	(138)
六、对多次开发调整的分析·····	(142)
七、最优化开发模式·····	(145)
第四章 工艺技术系列·····	(148)
第一节 钻井、完井工艺及油层保护技术·····	(148)
一、钻井工艺技术研究·····	(148)
二、完井工艺技术研究·····	(154)
三、油层保护技术研究·····	(157)
第二节 测井工艺技术·····	(160)
一、地球物理测井方法和系列选择·····	(161)
二、油田动态参数评价·····	(161)
三、不同开发阶段测井解释方法评价·····	(174)
第三节 采油工艺技术·····	(193)
一、油田开发初期、低含水期配套的采油工艺技术·····	(193)
二、油田进入中含水期，进行细分调整阶段配套的采油工艺技术·····	(201)
三、油田进入高含水期，进行加密综合调整开发阶段配套的采油工艺技术·····	(206)
第四节 地面工艺技术·····	(212)
一、集油流程及配套系统优选·····	(212)
二、脱水流程及设备的优选·····	(216)
三、注水流程和设备的选择·····	(219)
四、污水处理流程及设备的选择·····	(224)
五、油气综合利用·····	(226)
参考文献·····	(228)

一、区域构造背景及构造特征

1. 区域构造背景

泌阳凹陷属于秦岭褶皱带上的南襄盆地内次一级凹陷，是我国比较典型的陆相中新生代山间富含油气的小型断陷盆地，面积 1000km^2 ，凹陷南界、东界以边界大断裂与桐柏山相接，北界为社旗凸起，西部以唐河低凸起与南阳凹陷相隔，东北部是伏牛山。凹陷的形成主要受北西向的唐河—栗园断裂和北东向的栗园—泌阳断裂控制，沉积中心位于二条边界断裂交汇处的内侧，据地震资料揭示，基底最大埋深达 8000m 以上，地层向北逐渐抬起，形成一个南深北浅的箕状断陷。由于受南界大断裂的控制，使湖盆南缘发育一系列巨厚的以粗碎屑为主的冲积扇三角洲沉积体，包括井楼、双河、赵凹、杨桥、栗园、梨树凹、下二门等砂岩体，其中以双河扇三角洲砂岩体分布最大。

泌阳凹陷形成始于晚白垩世，结束始于晚第三纪。早第三纪末的构造运动，是盆地内一次广泛而强烈的构造变动，使局部构造基本定型。双河鼻状构造直到核一段沉积末期一直是一个由东南向北倾伏的鼻状构造，只是到了上第三纪廖庄组沉积末期，凹陷西北急剧抬起，完全改变了鼻状构造的倾向，成为由西北向东南倾没的鼻状构造。

2. 双河油田核三段构造特征

双河油田核三段构造较为简单(图 1.2)，构造轴向为东南—西北向，构造隆起幅度由东

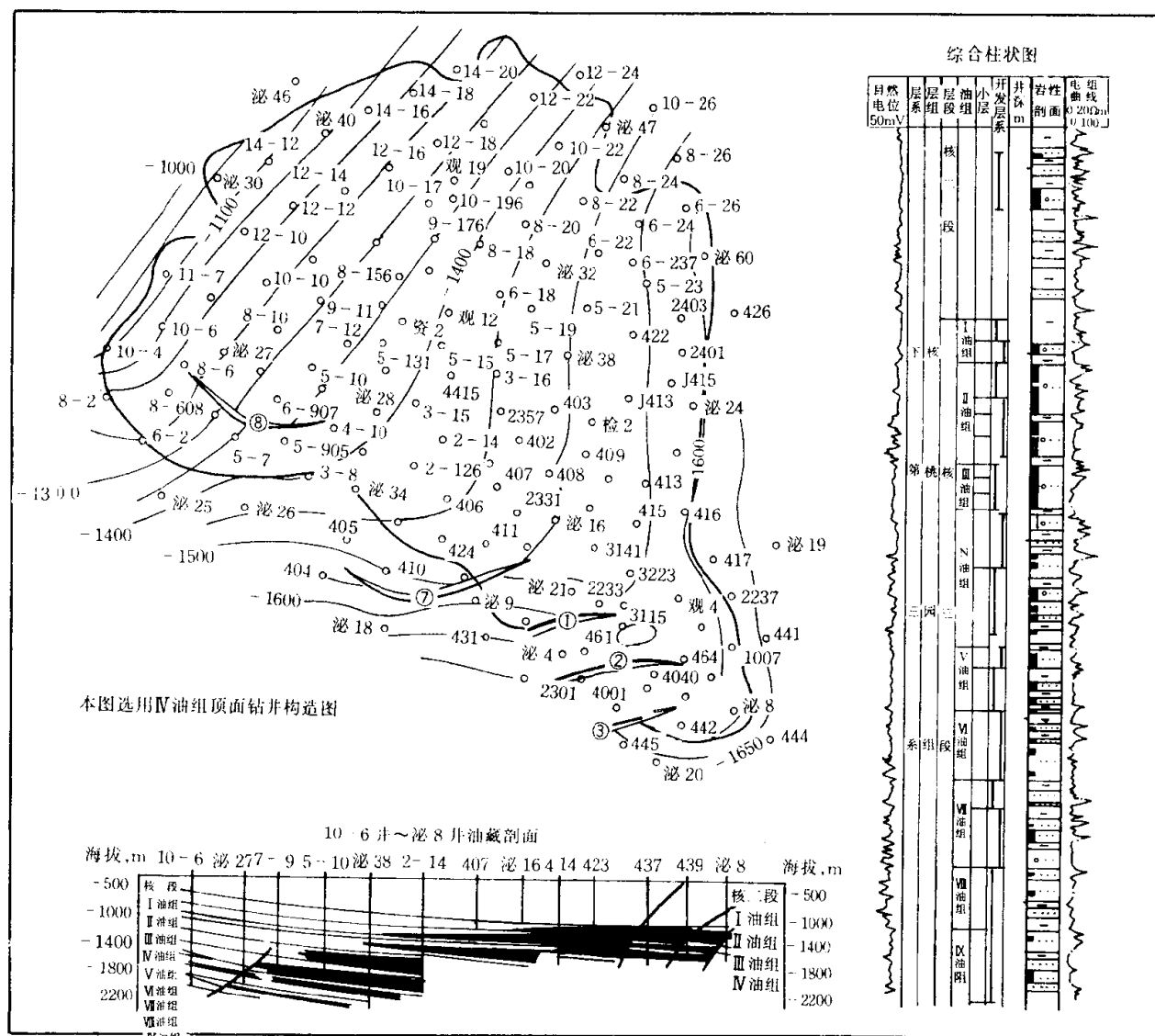


图 1.2 双河油田油藏综合图

南向西北逐渐减弱，至江河区基本成为向西北抬起的单斜，地层倾向 $130^{\circ}\sim 140^{\circ}$ ，地层倾角 $3^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 。双河区为鼻状构造，构造轴倾角 $3^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ，两翼不对称，东北翼稍缓，地层倾角 $4^{\circ}\sim 6^{\circ}$ ，西南翼相对较陡，地层倾角 $4^{\circ}\sim 9^{\circ}$ 。

整个构造分布有规模大小不同的 10 条正断层，主要分布在双河构造倾没端及江河区南部。断层走向一般近东西向，延伸长度 $0.7\sim 2.0\text{km}$ ，倾角 $35^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ，落差 $8\sim 138\text{m}$ 。

二、油藏地质基本特征

1. 储层分布形态

双河油田核三段油层，埋深 $1330\sim 2400\text{m}$ ，自上而下划分九个油组，105 个小层，279 个单层，其中含油单层 234 个，圈闭形成 270 个油砂体。

储层分布及产状受沉积环境控制。双河扇三角洲砂体由于物源来自南部紧邻山区，是水侵条件下的退复式沉积，因此，各沉积砂体由物源向处呈扇形分布，砂体沉积范围不断缩小，砂体外缘向东南方向不断退缩，砂体尖灭线由西北向东南迁移，构成江河地区分布 V—IX 油组油层，双河地区分布 I—IV 油组油层。

扇体平面长 $5\sim 12\text{km}$ ，宽 $3\sim 9\text{km}$ ，扇体面积最小 10km^2 ，最大 80km^2 ，砂层厚度由东南物源向西北远源方向逐渐变薄尖灭（图 1.3）。剖面上各砂体呈叠瓦状排列，单个砂体呈楔状，水道砂体呈顶平底凸的透镜状，前缘砂体呈大片厚层分布。

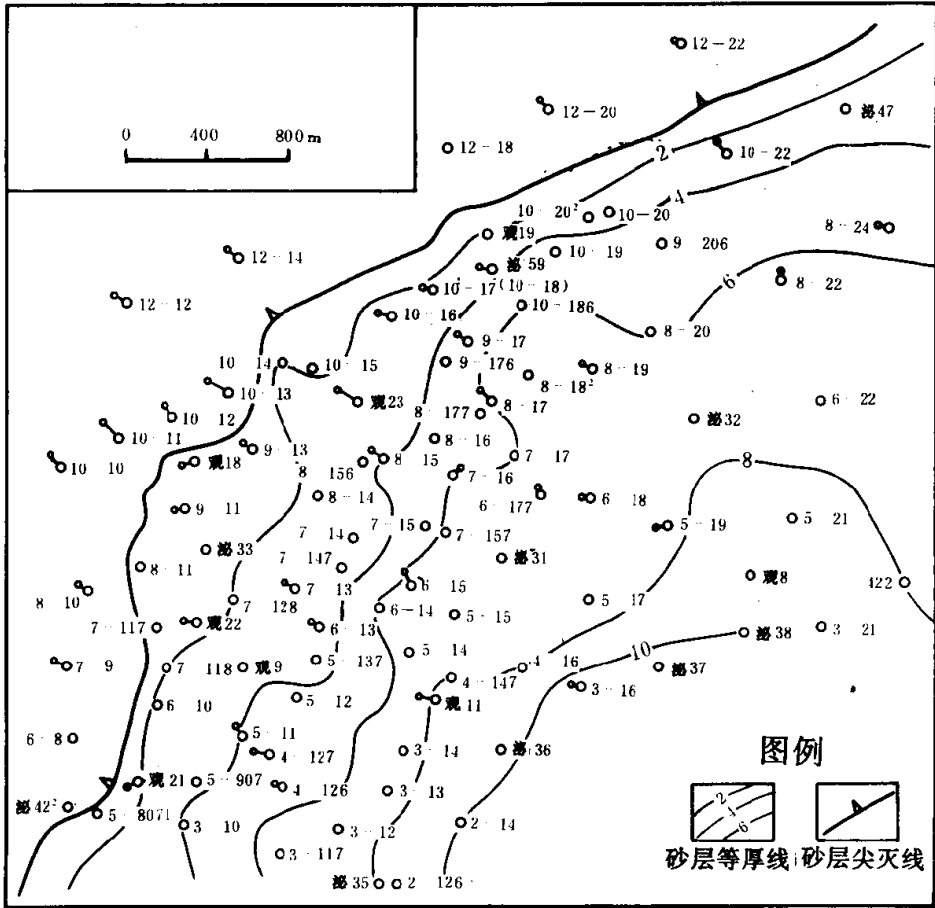


图 1.3 双河油田 VI 油组第 15 小层砂层等厚图

各储层单元含油程度差别较大，最大含油面积 9.15km^2 ，最小仅有 0.04km^2 ，大部分大于 1km^2 。油层分布受构造及岩性控制，构造高部油层多，厚度大，向两翼部位油层减少，构造

低部位为水层，油水边界与构造等高线基本平行（图 1.4）。各油藏由于含油丰度的差异，没有统一的油水界面，从海拔-1247~-2265m 均有分布，具有油水界面参差不齐，错开咬合的特点。

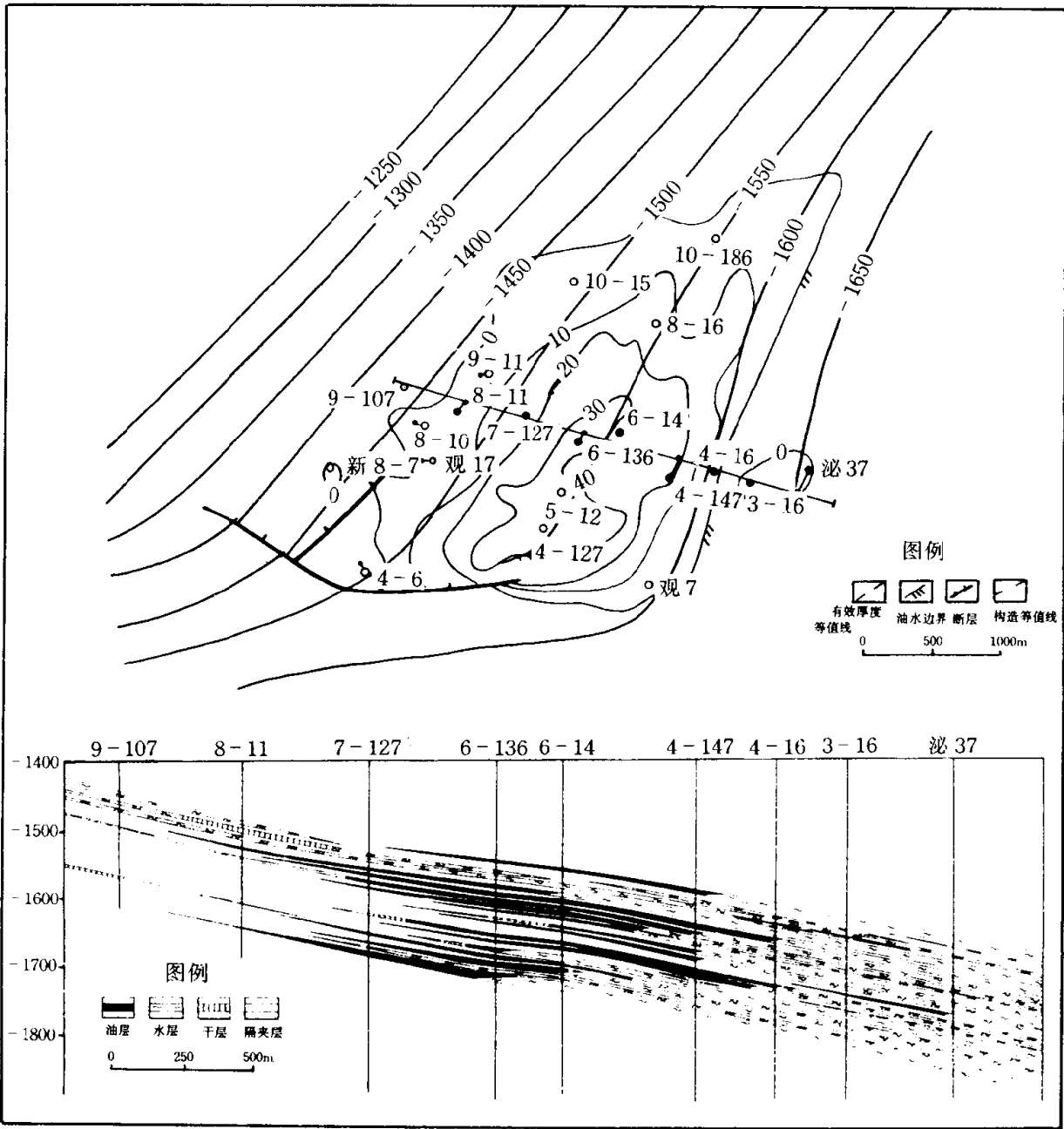


图 1.4 双河油田 V 油组油藏构造图

双河油田油砂体多，但主力油层相对集中，全油田 270 个油砂体中原油地质储量最大 $614 \times 10^4 \text{t}$ ，最小只有 $1 \times 10^4 \text{t}$ ，一、二类油砂体 94 个，占油砂体个数的 34.8%，储量占全油田的 83.4%，开发对象重点明确。但油砂体分布系数低，大于 0.5 分布系数的仅占油砂体数的 21.2%，小油砂体多，给开发调整带来困难。

2. 圈闭类型

双河油田核三段砂层与构造条件相配置，主要形成四种类型圈闭（图 1.5）。

(1) 砂岩上倾尖灭型圈闭

砂体沿上倾方向呈岩性或岩相尖灭，其尖灭线与构造等高线交切形成圈闭。圈闭及其含油面积大，储层为前缘相沉积，厚度较大，原油地质储量占全油田的 68.01%。主要分布在江

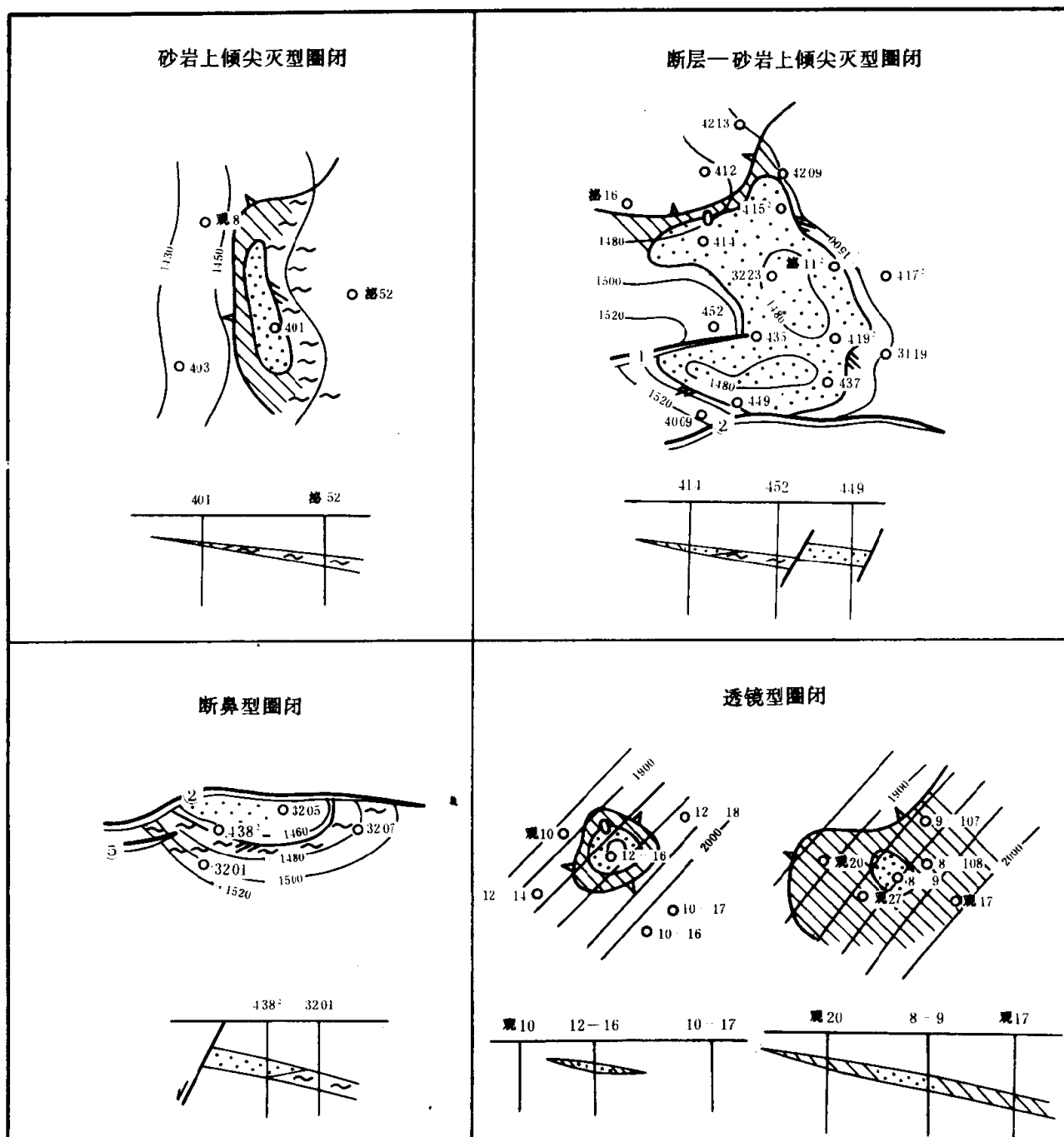


图 1.5 双河油田圈闭类型图

河区和双河区北块，平面分布较为集中。

(2) 断层—砂岩上倾尖灭型圈闭

在构造高部位，断层线和砂岩上倾尖灭线共同与构造等高线交切形成圈闭。圈闭及其含油面积仅次于砂岩上倾尖灭型圈闭，储层相当前缘相部位，厚度较大，原油地质储量占全油田的 25.45%。平面上呈现双河区北块与 437 断块连片分布，较为集中。

(3) 断鼻型圈闭

鼻状构造倾没部被断层切割形成圈闭。储层为平原相沉积，厚度大，但圈闭及其含油面积小，原油地质储量占全油田的 6.38%。主要分布在 2 号断层以南的各断块。

(4) 透镜型圈闭

砂体呈透镜状或四周相变为致密砂岩形成圈闭。储层厚度小，物性差，圈闭及含油面积小，原油地质储量仅占全油田的 0.16%。在全油田零星分布。

总体来看，砂岩上倾尖灭型及断层—砂岩上倾尖灭型圈闭在双河油田核三段油藏圈闭中占绝对优势，平面分布集中，纵向叠合紧密，原油地质储量大，十分有利于组合开发，应是油田开发的重点对象。

3. 储层岩性

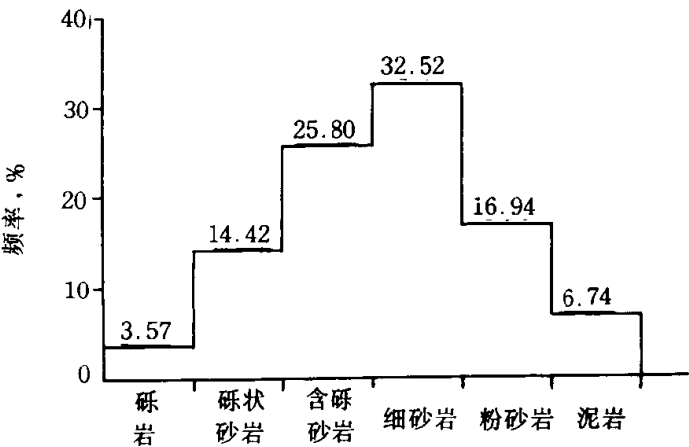


图 1.6 双河油田储层岩性频率分布直方图

根据 20 口取心井 189 个砂层剖面 731.3m 岩心资料统计，储层中砾岩占 3.57%，砾状砂岩占 14.42%，含砾砂岩占 25.8%，细砂岩占 32.52%，粉砂岩占 16.94%，泥岩占 6.74%，图 1.6 表明岩性粗细混杂。在含油砂岩中，含砾砂岩及其以上粗粒岩石占 57.4%，岩心观察砾岩直径一般小于 5cm，在双河南部砾岩直径最大可达 20~70cm。

油层主要为碎屑岩类，其成分主要为石英、长石、岩屑和其它杂基所构成。据 210 块铸体薄片统计：石英含量平均为 41.19%，长石含量平均为 22.87%，岩屑平均为 10.39%，胶结物以泥质为主，平均 10%左右，灰质次之小于 5%。岩屑成分以变质岩、花岗岩为主，沉积岩岩屑次之，火山岩屑较少。

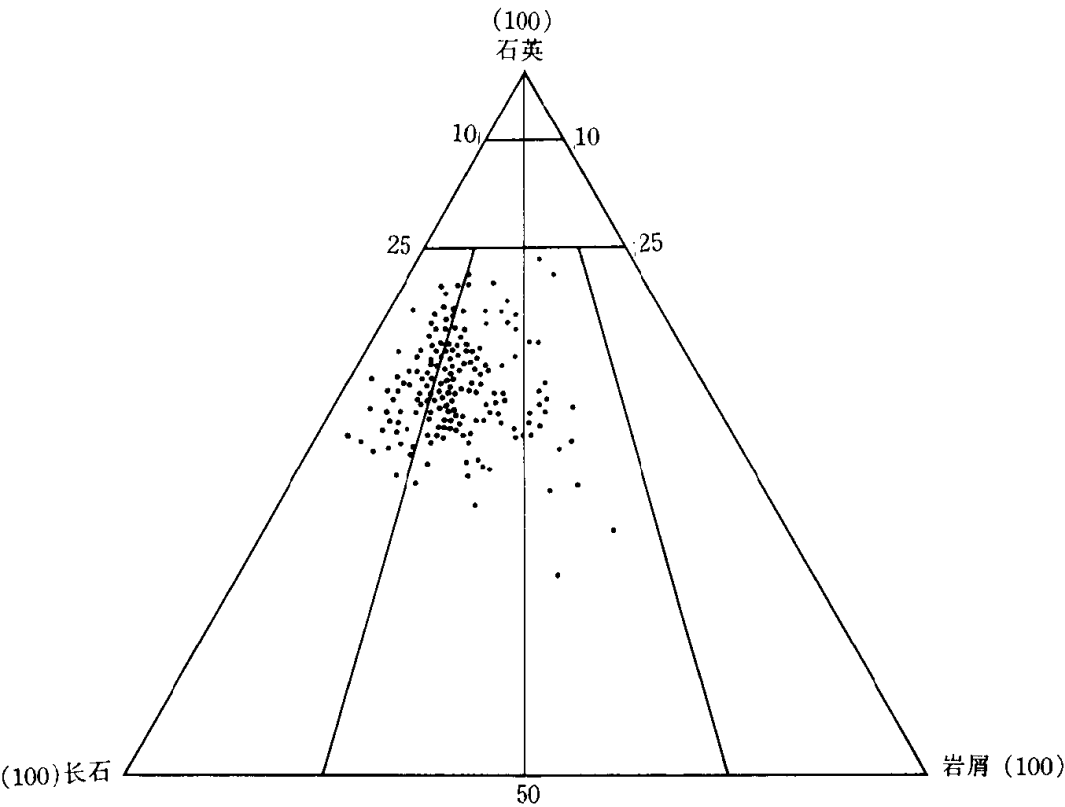


图 1.7 双河油田核三段砂屑岩成分分类三角形投影图

按成分—成因分类 (图 1.7), 岩石类型主要有长石砂岩、岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩。岩石以孔隙型胶结为主, 颗粒次圆—次尖, 分选中等偏差。

4. 储层非均质性

从宏观上看, 储层岩石颗粒粗细混杂, 粒级分布范围大, 最大砾径在 10cm 以上, 分选差, 岩心中常见一半为含油良好的孔隙性砂岩, 一半为非含油的碳酸盐致密胶结砂岩的现象; 砂层系数平均 0.51, 表明有近一半的砂层为非有效层。层内夹层密度、频数变化大, 反映出多数夹层稳定性差; 沉积韵律复杂, 以复合韵律为主, 为数次甚至十余次突变接触的正韵律水道砂叠加, 这些正韵律水道砂小则十几厘米, 大则几十厘米, 这就更增加了储层内部的不均匀性。上述现象表明, 储层具有严重的非均质性。

从渗透率变化看, 最小值小于 $0.001\mu\text{m}^2$, 最大可达数平方微米, 变异系数为 0.96~1.12, 突进系数为 5.23~12.59, 级差为 34~285, 大部分在 100 以上, 同样反映储层非均质性严重。

5. 渗流物理特性

(1) 储层岩石表面润湿性

用排驱自动吸入法对岩石表面润湿性测定表明 (表 1.1): 双河油田核三段储层仅 VI、V、VII 油组岩石显示为中性偏亲水, 其它各油组岩石均为弱亲水, 综合评价全油田岩石为弱亲水润湿性。

(2) 储层油水相对渗透率

双河油田核三段储层油水相对渗透率曲线 (图 1.8) 表现出: 随含水饱和度增加, 油相渗透率下降快, 水相渗透率上升缓, 终点低, 两相流动区间窄的特点。全油田束缚水饱和度 31.5%, 残余油饱和度 27.9%, 油水两相交点饱和度 58.27%, 水相渗透率终点 19.87%, 油水两相共渗跨度 0.4435, 含水 98% 时水驱油效率 51.3%。

6. 流体性质

双河油田原油相对密度为 0.8443~0.8793, 70℃ 时动力粘度为 4.29~15.57mPa·s, 凝固点为 28~43℃, 含蜡量 22.50%~39.5%, 胶质沥青质含量 6.93%~14.49%, 含硫量 0.07%~0.13%, 地层原油析蜡温度 31.4~52.0℃, 初馏点 106~113℃, 200℃ 时的轻质馏分为 5.40%~16.38% (表 1.2)。具高含蜡、高凝固点、相对密度小、含硫量低、中等胶质沥青质含量和中等粘度的特点。纵向上随深度增加、相对密度、粘度、凝固点、含蜡量、胶质沥青质含量、析蜡温度降低, 轻质馏分增加。

地层原油粘度 1.85~9.22mPa·s, 饱和压力 0.60~5.91MPa, 原始地饱压差大 (12~14MPa), 气体平均溶解系数 4.67~7.00m³/(m³·MPa), 密度 0.744

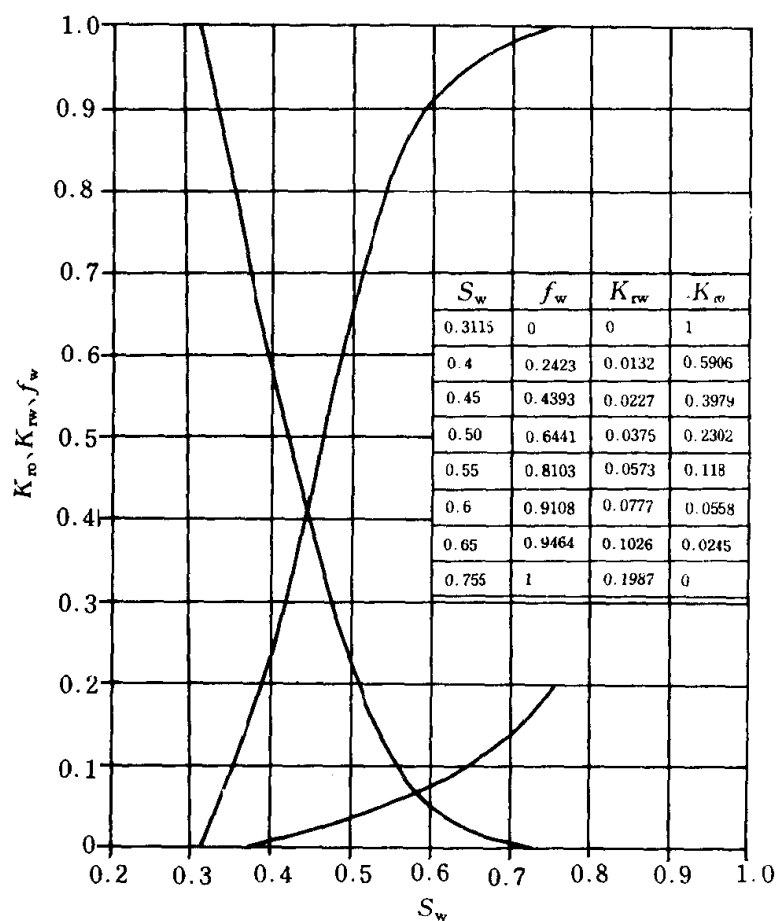


图 1.8 双河油田相对渗透率曲线

~0.820g/cm³，原始气油比 2.8~36.1m³/m³，一次脱气体积系数为 1.063~1.181，压缩系数为 76×10⁻⁵~120×10⁻⁵MPa⁻¹，收缩率为 5.9%~16.35%，一次脱气气油比为 3.2~43.6m³/t，20℃时脱气原油密度为 0.838~0.873g/cm³，一次脱气气体密度为 1.055~1.273g/L。纵向上随深度增加，粘度、密度、一次脱气气体密度降低，饱和压力、原始气油比、一次脱气体积系数、压缩系数、收缩率、一次脱气气油比增大（表 1.3）。

表 1.1 双河油田油层岩石润湿性自吸法测试综合数据表

区块	单元	试验井号	试验块数	试验温度	吸油量占孔隙体积比,%	吸水量占孔隙体积比,%	润湿判别
437	Ⅱ ₁₋₂	1009, 资 1	22	70℃	0.57	10.29	弱亲水
	Ⅱ ₃	1009, 资 1, 2307	18	70℃	0.26	3.72	中性偏亲水
	Ⅱ ₄₋₆	1009, 资 1	9	70℃	0.09	15.76	弱亲水
	Ⅲ ₁₋₃	资 1, 3115	41	70℃	1.72	7.28	弱亲水
	Ⅳ	资 1, 3115	19	70℃	0.50	2.37	中性偏亲水
北块	Ⅱ ₄₋₆	泌 21, 407, 检 1	43	70℃	0.52	9.71	弱亲水
	Ⅳ ₁₋₄	5—23 ² , 3—21, 泌 11 ²	22	70℃	0.94	4.28	中性偏亲水
	Ⅳ ₅₋₁₃	J210, 观 11, 检 2	70	70℃	3.85	6.89	弱亲水
江河	V	5—131, 观 11	15	70℃	0.001	1.17	中性偏亲水
	Ⅵ	7—16, J3—905	13	70℃	2.20	6.03	弱亲水
	Ⅶ ₁₋₃	4—10, 观 17, 10—195	46	70℃	0.78	3.98	中性偏亲水
	Ⅶ ₄₋₁₃	4—10, 观 17	8	70℃	0.77	2.58	中性偏亲水
	Ⅷ、Ⅸ	12—14, 观 17	18	70℃	1.25	7.09	弱亲水
油田合计		19 口	344		1.42	5.78	弱亲水

表 1.2 双河油田原油物理性质数据表

油 组	相对密度 D_4^{20}	动力粘度 (70℃) mPa·s	凝固点 ℃	含蜡量 C	胶质沥青 质含量 %	含硫量 %	地层原油 析蜡温度 ℃	初馏点 ℃	轻质馏分 200℃ %
I	0.8793	15.57	43	39.35	14.49	0.13	52.0	113	5.40
Ⅱ	0.8715	13.50	42	29.80	10.73	0.10	50.0	108	7.10
Ⅲ	0.8686	10.36	42	34.36	12.91	0.12	/	113	8.60
Ⅳ	0.8632	11.50	40	37.10	12.37	0.12	40.6	110	7.80
V	0.8512	5.96	35	32.43	7.44	0.08	35.6	106	11.54
Ⅵ	0.8519	5.26	29	22.50	10.15	0.09	33.0	111	13.45
Ⅶ	0.8560	5.60	31	25.40	9.91	0.10	33.1	109	13.85
Ⅷ	0.8479	4.43	28	23.18	7.41	0.07	35.5	111	16.38
Ⅸ	0.8443	4.29	30	26.99	6.93	0.08	31.4	109	14.78
I ~ Ⅸ	0.8443~ 0.8793	4.29 ~15.57	28~43	22.50~ 39.35	6.93~ 14.49	0.07~ 0.13	31.4~ 52.0	106~ 113	5.40~ 16.38