

陆相成熟盆地油气 挖潜勘探理论与实践

——以渤海湾盆地八面河探区油气成藏研究与应用为例

徐义卫 庞雄奇 李 雪 邱楠生 等著

石油工业出版社

陆相成熟盆地油气 挖潜勘探理论与实践

——以渤海湾盆地八面河探区
油气成藏研究与应用为例

徐义卫 庞雄奇 李 雪 邱楠生 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是渤海湾盆地东营凹陷八面河探区近 40 年来油气勘探成果的总结。全书系统地总结了研究区近 5 年来科学研究取得的新理论、新方法和新技术以及在它们的指导和应用下八面河探区油气勘探取得的重大突破。通过精细的油—源对比、优质烃源岩的分布预测、烃源岩排烃特征分析和油气运移路径分子地球化学追踪研究,本书建立了研究区油气成藏的动态模型,结合物理模拟实验阐明了油气运聚机理和分布模式,最后通过综合研究预测了最有利勘探区带。

本书可供从事油气勘探的科研工作者、技术管理人员以及大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

陆相成熟盆地油气挖潜勘探理论与实践/徐义卫等著.

北京:石油工业出版社,2006.9

ISBN 7-5021-5566-X

I. 陆…

II. 徐…

III. 油气藏—形成—研究—东营市

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 067691 号

陆相成熟盆地油气挖潜勘探理论与实践

——以渤海湾盆地八面河探区油气成藏研究与应用为例

徐义卫 庞雄奇 李 雪 邱楠生等著

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 16.75

字数: 427 千字 印数: 1—1000 册

定价: 50.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

八面河探区位于山东省寿光县境内,往东约 10km 是小清河注入渤海湾的入海口。构造上位于渤海湾盆地东营凹陷南坡东段的八面河断裂构造带上,是一个独立的成藏体系。经过近 40 年的勘探,截至 2003 年共钻探井 196 口,探井密度为 0.18 口/km²,已处于高勘探程度。由于油气成因与成藏机理、油气分布规律与主控因素、剩余油气资源量预测等方面存在诸多地质难题,油气挖潜勘探进程缓慢。

针对上述问题,江汉油田分公司、中国石油大学(北京)等单位,于 2000 年至 2004 年间,在国家 973 重大课题“中国典型叠合盆地油气聚散机理与定量模拟”(编号 G199943310)、中石化“九五”重大基础项目“八面河地区油气运聚成藏机理研究”、国家“十五”攻关专题“济阳拗陷第三系沉积体系与油气运聚机理研究”以及八面河采油厂“八面河深浅层油气成因与成藏研究”等基础研究项目的资助下对八面河探区开展了综合研究并取得了丰硕成果。新增探明油气储量 3887 万吨,产生直接经济效益 574792 万元,“十五”勘探成效较“九五”增长了 2.3 倍。本书就是在上述研究成果的基础上编写完成的。

本书为地球科学领域应用性基础研究。在研究过程中,采用了生物标志物绝对定量分析技术、层位标定生物标志物、单体烃同位素和络合物等国际前沿性的新技术。解决了八面河探区油气成因机理方面的国际性前沿难题,依据新理论、新认识评价了八面河探区剩余油气资源潜力,建立了八面河探区油气成藏新模式,指出了最有利勘探区带,指导部署了一批生产探井,并获得重大突破。主要成果包括以下几方面:

(1) 应用门限控烃理论对八面河探区主力烃源岩的排烃量、排烃效率、排烃速率等进行了计算,为八面河油田油气来源的研究奠定了基础,从而解决了排烃定量研究中的难题。

(2) 利用生物标志物绝对定量分析技术、层位标定生物标志物、单体烃同位素等多种先进的分析测试方法与手段进行了油源对比综合研究,确认八面河探区古近系沙河街组及其上部层系油气主要为成熟油气,而非未熟—低熟油。

(3) 在地质与地球化学综合研究基础上,揭示了八面河探区多源油气混合的地质地球化学特征,形成了相应的分析方法,建立了地质、地球化学以及地质—地球化学相结合的三种混源油气来源定量计算模型。依据三种方法计算出八面河地区未熟—低熟油的相对含量介于 10%~12%,为下一步油气勘探提供了理论依据。

(4) 在地质背景、油气运移分子地球化学研究基础上,确认了八面河探区油气主要运移路径及优势通道,建立了八面河探区油气运聚成藏新模式,为勘探目标的优选提供了科学依据。

本书是集体劳动的结晶,凝结着全体研究人员的辛勤劳动和心血,书中具体执笔分工如下:绪论由徐义卫、庞雄奇编写;第一章由李雪、黄烈林、马晓昌编写;第二章由白国平、金之钧、解国军编写;第三章由庞雄奇、李素梅、王明培编写;第四章由邱楠生、庞雄奇编写;第五章由李素梅、黎茂稳、李雪编写;第六章由庞雄奇、解国军、左胜杰、周杰、田文广编写;第七章由徐义卫、李雪、贺其川、王涛溪编写。最后由徐义卫、庞雄奇、李雪、邱楠生统稿。

在开展相关课题研究及完成本书的过程中，自始至终得到了清河采油厂、教育部石油与天然气成藏机理重点实验室、中国石油大学（北京）盆地与油藏研究中心、中国石油大学（北京）资源与信息学院环境与地球化学实验室的帮助和支持；中国石油大学盆地与油藏研究中心办公室工作人员曾旋为该书出版在绘图和编排诸方面付出了辛勤劳动，在此一并表示感谢。

此外，本书参考了大量前人研究成果，在此表达最诚挚的感谢和敬意。

目 录

绪论	(1)
一、高勘探程度区的基本概念与特征	(1)
二、八面河探区油气勘探史与面临的挑战	(2)
三、研究内容与研究方法	(7)
四、创新成果与实用效益	(8)
第一章 八面河探区区域地质特征	(10)
第一节 构造特征及其演化	(10)
一、构造背景条件	(10)
二、构造特征与单元划分	(10)
三、构造演化特征与阶段划分	(12)
第二节 沉积体系及其层序地层特征	(14)
一、地层展布特征	(14)
二、沉积相展布特征	(22)
三、沉积充填史	(26)
第三节 油气地质条件与评价	(26)
一、烃源岩分布发育特征	(26)
二、储层分布发育特征	(36)
三、盖层分布发育特征	(43)
四、生储盖组合特征	(44)
第四节 圈闭发育特征	(44)
一、北部斜坡带	(44)
二、八面河鼻状断裂构造带	(44)
三、南部斜坡带	(45)
四、广饶凸起带	(45)
第二章 八面河探区油气藏地质地球化学特征	(46)
第一节 油气藏类型与分布特征	(46)
一、油气藏类型	(46)
二、油气藏分布特征	(47)
第二节 油气藏规模特征与序列	(50)
一、油气藏规模特征	(50)
二、油气藏规模分布序列	(50)
三、油气藏规模发现序列	(56)
第三节 油气藏勘探效益特征与主控因素	(57)
一、油气藏勘探效益变化特征	(57)
二、影响油气藏勘探效益的主控因素	(58)

第四节 油气藏流体特征及其分布·····	(59)
一、原油的物化特征与分布·····	(59)
二、油田水的物性特征·····	(64)
三、油气藏温压特征·····	(64)
第三章 八面河探区油气藏成因机理与地质模式·····	(67)
第一节 油气来源特征解析·····	(67)
一、油气源对比确定主力烃源岩层段·····	(67)
二、烃源岩排烃特征研究评价烃源岩品质·····	(97)
三、不同地区不同层位不同阶段烃源岩相对贡献量评价·····	(103)
第二节 油气运移路径追踪研究·····	(117)
一、油气运移方向判别·····	(117)
二、油气运移路径与追踪·····	(122)
第四章 八面河探区油气成藏过程物理模拟·····	(129)
第一节 油气成藏过程物理模拟·····	(129)
一、物理模拟方法与原理·····	(129)
二、油气成藏过程物理模拟实验装置简介·····	(130)
三、物理模拟结果与讨论·····	(130)
第二节 油气成藏过程数值模拟·····	(150)
一、数值模拟方法与原理·····	(150)
二、数值模拟参数选定·····	(152)
三、数值模拟结果与讨论·····	(153)
第三节 油气成藏的地质模式·····	(155)
一、成藏模式的基本概念·····	(155)
二、八面河探区成藏模式总结与讨论·····	(158)
第五章 八面河探区深层油气成因与成藏研究·····	(163)
第一节 深层原油特征·····	(163)
一、东营凹陷南斜坡东段奥陶系潜山原油特征·····	(163)
二、东营凹陷南斜坡东段孔店组原油特征·····	(167)
第二节 深层油源探讨·····	(170)
一、油源对比·····	(170)
二、王古 1 井油源剖析·····	(183)
第三节 深层油气藏成藏模式·····	(185)
一、潜山油气成藏模式·····	(185)
二、孔店组成藏模式·····	(195)
第六章 八面河探区油气挖潜勘探理论与方法·····	(199)
第一节 成藏门限理论研究与资源潜力评价·····	(199)
一、成藏门限理论简介·····	(199)
二、成藏门限理论在东营凹陷王家岗—八面河成藏体系的应用·····	(209)
第二节 油气藏勘探成效理论模型研究与剩余资源潜力预测·····	(213)
一、油气藏勘探成效主控因素分析·····	(213)

二、油气藏勘探成效理论模型·····	(215)
三、可探明剩余资源潜力预测方法与结果讨论·····	(218)
第三节 隐蔽油气藏成因理论与勘探目标优选·····	(228)
一、隐蔽油气藏的概念·····	(228)
二、隐蔽油气藏成因理论与基本模式·····	(230)
三、隐蔽油气藏预测方法与结果讨论·····	(236)
第七章 八面河探区油气勘探实践与成效·····	(241)
第一节 勘探目标类型与评价 ·····	(241)
一、主体构造带北段断鼻（块）圈闭群是挖潜的有利目标之一·····	(241)
二、南部斜坡地层复合圈闭带是有利的勘探目标·····	(243)
第二节 应用实践与效果·····	(244)
一、微型断块圈闭群滚动勘探·····	(244)
二、复合圈闭勘探·····	(246)
参考文献·····	(249)

绪 论

我国东部陆相含油气盆地是我国目前主要的油气生产基地,随着勘探程度的不断提高,后备储量增长速度越来越慢,油气产量逐年下降。如何解决目前油气挖潜勘探中面临的地质难题,继续保障东部老油区的高产和稳产,是中国油气工业发展面临的最具挑战性的任务之一。

一、高勘探程度区的基本概念与特征

成熟盆地也可称之为油气勘探程度较高的地区。根据国际标准,探区勘探程度按预探井密度可分为四类,成熟探区大于 0.50 口/ km^2 ,高勘探程度区为 $0.1 \sim 0.50$ 口/ km^2 ,中等勘探程度区为 $0.01 \sim 0.1$ 口/ km^2 ,低勘探程度区小于 0.01 口/ km^2 。

八面河油田位于山东省寿光县境内,往东约 10km 是小清河注入渤海湾的入海口。构造上位于渤海湾盆地济阳坳陷东营凹陷南斜坡东段的八面河断裂构造带上,与广饶凸起接壤(图 1)。

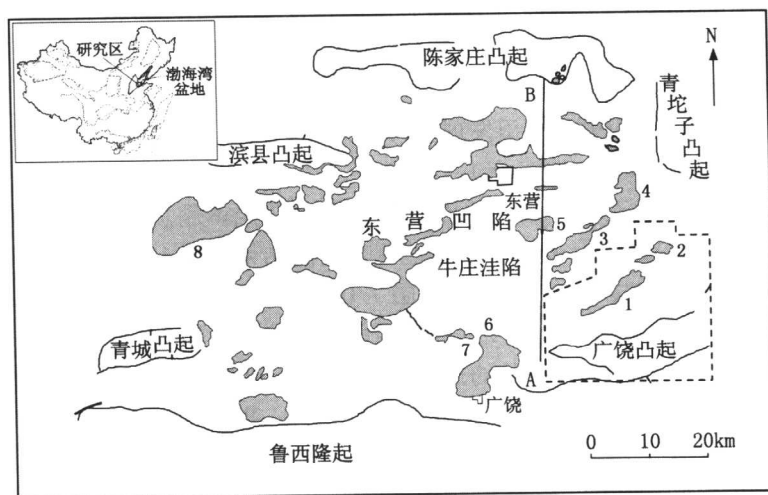


图 1 八面河油田区域位置图

1—八面河油田; 2—羊角沟油田; 3—王家岗油田; 4—广利油田;
5—牛庄油田; 6—草桥油田; 7—安乐油田; 8—平方王油田;
虚线框为八面河探区范围

八面河探区截至 2003 年共钻探井 196 口,探井密度为 0.18 口/ km^2 (图 2),处于高勘探程度区,但探井分布不均,主要集中在八面河断裂带和北部斜坡带。

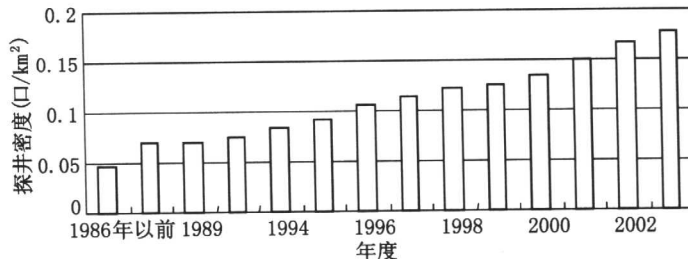


图 2 八面河探区历年探井密度分布图

高勘探程度区的基本特点是探井密度较大,资源探明率高,八面河探区资源探明率高达70%以上,剩余资源品位低、分散、经济效益差,潜在圈闭面积小、幅度低、钻探风险大。未发现的油气藏规模越来越小,埋藏深度也越来越大,获得单位储量需要的探井工作量也越来越大;在开发上,由于油田具有断层多、断块小的特点,导致新井初期产量高但递减快;油层物性好,但油层非均质性严重,油水界面多、地饱压差大。上述特点导致了油田含水上升快,一般油田初期的含水为50%~60%,3年后均能达到80%。

二、八面河探区油气勘探史与面临的挑战

(一) 八面河探区油气勘探史

八面河探区的油气勘探始于20世纪60年代,至今已有近40年的勘探历史。1966年12月和1967年5月先后由莱5井和莱11井发现古近系沙河街组油气层。1972年12月射开莱11井沙四段1层3.5m,抽汲日产油4.1t。之后,勘探无重大突破。1985年按原石油工业部的指示把包括八面河油田在内的1100km²的区块整体承包给江汉石油管理局,该油田自1986年投入开发。因此自1985年起,八面河探区的油气勘探与开发均由江汉石油管理局下属的清河采油厂全权负责。1986年4至5月,面1、面4井先后获得日产72t、77t的高产自喷油流,油田投入开发。在面1区、面2区、面4区、面12区、面14区发现地质储量5380×10⁴t,1987年在面22块、面23块和面120块发现地质储量1161×10⁴t,尔后勘探工作停止,直到1993年重上勘探,至1999年底又发现地质储量2474×10⁴t。到1999年底,在1100km²江汉油田自营区内共探明石油地质储量9635×10⁴t(近年每年探明储量350×10⁴t),累积含油面积50km²,探明油藏1069个,气藏124个。

八面河探区的油气勘探史和油田发现史可以大致分为以下三个阶段。

1. 勘探发现阶段(1964—1985年)

1964年,通王惠石油会战开始,从而拉开了东营凹陷南斜坡油气勘探的序幕,该年在八面河探区开始地震普查(五一型)。依据地震普查的结果,于1966年在八面河断裂带首钻莱5井,在沙三段发现油层9.2m/4层、气层7.0m/3层,测试日产天然气26400m³及少量油流。次年再钻莱11井又获成功,沙三、沙四段均见油层,厚12.6m/9层,射开沙四段日产4.1t工业油流(图3a)。两口探井的成功预示着八面河探区的油气前景非常诱人。1975年探草23井获得成功,发现本区的第一个含油区块——草23块(图3b)。其后,又陆续发现莱5块和莱12块。1975—1984年间,探明石油储量160×10⁴t。

20世纪70年代末,区内完成地震详查(模拟磁带6次及12次覆盖)。1980—1985年间,完成数字地震工作,局部测网密度达到600m×600m。地震工作特别是数字地震资料极大地促进了八面河探区的油气勘探。1986年,先后部署面1、面4、面5、面2、面3井钻探5个依数字地震资料而确定出的5个断鼻构造。面1井沙三中亚段试油获得59.1t/d的工业油流,面4井沙四段试油获得77.1t/d的高产工业油流。且在面1和面5井首次发现馆陶组油气藏。至此该区油气勘探获得了重大突破,1986年发现了面1、面2、面4、面12和面14区块(图3c),该年成为发现油气最多的一年。

2. 滚动勘探开发阶段(1986—1992年)

从1986年5月起,数字地震细测工作开始,主要工区测网密度达到300m×300m,进一步落实了构造形态和断裂系统。钻探了面7、面9等30口探井和大批开发准备井,探明含油区块9个,建成年产80×10⁴t的八面河油田,1986年八面河油田全面投入生产。

这期间的1987年是第二个勘探丰收年,一年内发现面22、面23和面120块,探明石

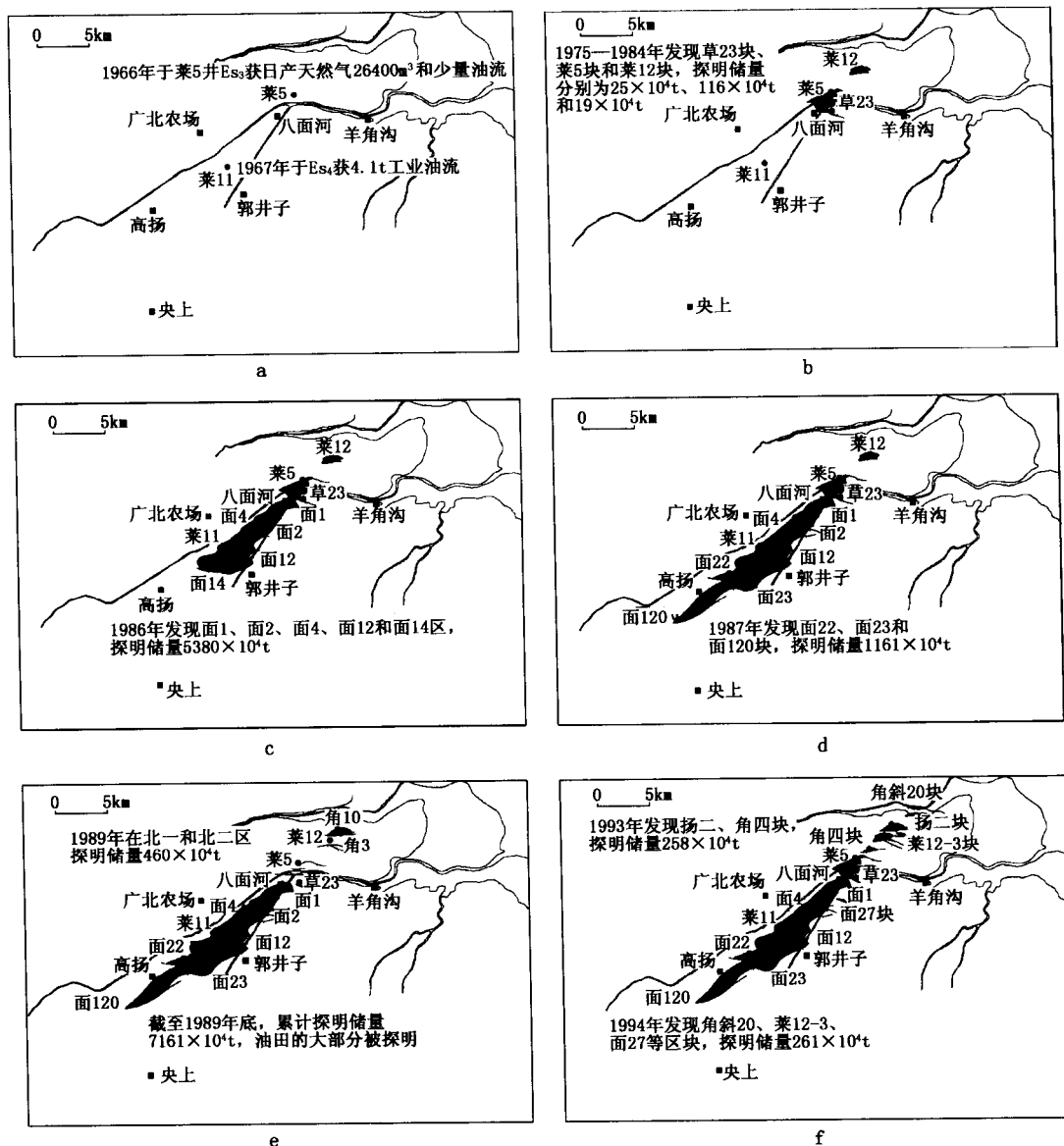


图3 八面河探区不同勘探阶段勘探成果图

a—八面河探区 1966—1967 年度勘探成果图；b—八面河探区 1985 年前勘探成果图；
c—八面河探区 1987 年前勘探成果图；d—八面河探区 1988 年前勘探成果图；e—八面河探区 1990 年前勘探成果图；f—八面河探区 1995 年前勘探成果图

油储量 $1161 \times 10^4 \text{t}$ (图 3d)。1988 年勘探未取得突破，但 1989 年在北区发现几个区块，探明储量 $477 \times 10^4 \text{t}$ 。截止到 1989 年底，在八面河探区累计探明石油 $7161 \times 10^4 \text{t}$ ，这些储量均位于八面河鼻状构造带 (图 3e)。至此，八面河鼻状构造带的大部分油藏被探明 (截止到 1999 年底，该构造带的探明储量共计为 $8331 \times 10^4 \text{t}$)。1990—1992 年，八面河探区的油气勘探工作曾一度终止，因此未有油气发现。

3. 挖潜阶段 (1993 年至今)

自 1993 年底起, 开始对八面河探区分区实施三维地震。其结果是发现了一批新的构造圈闭, 陆续发现了新的区块和储量。1993—1994 年间, 八面河构造带北区和中区实施三维地震, 发现和落实“三小”圈闭 22 个, 面积 10.61km^2 , 先后探明了扬 II、莱 12-3 等 8 个含油区块 (图 3f)。

1995 年, 对构造带北部斜坡带和南部斜坡带东段实施了三维地震勘探, 其结果是在八面河鼻状构造带以外的北部斜坡带和滩海区获得重大突破。1995—1999 年间, 共发现探明储量 $1842 \times 10^4\text{t}$, 滩海新探区的探明储量为 $362 \times 10^4\text{t}$, 北部斜坡带的探明储量为 $829 \times 10^4\text{t}$ 。

综观八面河探区的油气勘探史, 可以看出该区油气储量的增长与地震工作是密切相关的。沙三段和沙四段依然是最重要的勘探层系, 在三维地震已覆盖了全区的背景下, 再发现重点勘探层系构造油气藏的可能性已不大。勘探的突破将在很大程度上取决于新的勘探思路和勘探方向。

(二) 八面河探区勘探开发现状

截止到 2003 年底, 八面河探区累计完成三维地震 576.5km^2 , 钻探井 196 口, 探明含油面积 69.0km^2 , 累计探明石油地质储量达到 $1.2946 \times 10^8\text{t}$; 控制石油地质储量 $1102 \times 10^4\text{t}$, 预测石油地质储量 $2270 \times 10^4\text{t}$ 。自 1986 年投入全面开发以来, 八面河油田已累计产油 $1180 \times 10^4\text{t}$ (至 2001 年底)。

截止到 1999 年底, 区内先后完成二维数字地震 3249.1km , 八面河鼻状断裂构造带测网密度达 $300\text{m} \times 300\text{m}$, 广饶—羊角沟凸起及南部斜坡带部分区域测网密度达 $300\text{m} \times 600\text{m}$, 其他区域受地面条件限制, 测网较稀或无测线。三维地震 437.70km^2 , 分布在八面河断裂构造带中段、北段、北部斜坡带及南部斜坡带东段。全区共钻探井 136 口, 进尺 $25.86 \times 10^4\text{m}$, 达 $1236\text{口}/10^4\text{km}^2$ 。主要分布在八面河鼻状断裂构造带, 共计有 86 口井获工业油气流。

近年来八面河探区的勘探在北部斜坡带的广北油田、滩海地区的沙子岭油田、古潜山及老区不断有新的发现。经过 30 余年的勘探开发工作, 本区已接近高勘探程度区, 资源探明率高达 70% 以上, 但勘探工作量的分布很不均衡。横向上以八面河构造带, 纵向上以沙河街组勘探程度较高, 其他区带和层系尚处于低—中等勘探程度。目前, 八面河油田的勘探效益正在逐年降低, 勘探工作正在实行三个转变: ①勘探目的层向上、向下的转变。现在的主要目的是沙河街组, 探明程度很高, 很难有新的大发现, 迫使勘探向上部的馆陶组、明化镇组及下部的孔店组、中生界转移; ②勘探区块向南北两侧转变; ③勘探的油气藏类型向隐蔽型转变。目前勘探的主要是构造油气藏, 下一步的勘探将向岩性油气藏等复杂的隐蔽油气藏转变。

八面河油田的开发工作是在 1986 年以后, 最高年产量为 1989 年的 $91.63 \times 10^4\text{t}$, 其后一直到 1996 年, 年产量一直保持在 $80 \times 10^4\text{t}$ 以上。到了 1997 年, 油井含水大幅度上升, 产量开始滑坡, 产量降至 $80 \times 10^4\text{t}$ 。1998、1999 年的年产量分别为 $78.1 \times 10^4\text{t}$ 和 $72.7 \times 10^4\text{t}$, 2000 年产量为 $68 \times 10^4\text{t}$ 。截止到 1999 年 8 月底, 八面河油田的总井数为 832 口, 其中油井 655 口, 注水井 163 口, 观察井 4 口, 气井 10 口。全油田动用石油地质储量 $8068 \times 10^4\text{t}$, 含油面积 37.3km^2 , 标定采收率 21.6%, 可采储量 $1745 \times 10^4\text{t}$ 。1999 年 8 月份油井开井 542 口, 井口日产油 2318t, 井口日产液 15698t, 综合含水 85.2%, 核实日产油 1900t, 采油速度 0.86%, 采出程度 12.63%。注水井开井 126 口, 日注水 11228m^3 , 注水开发南区月注采比 1.15, 累计注采比 0.90。油井平均动液面 567m, 地层总压降 1.4MPa。近三年来, 通过转变勘探观点, 勘探局面逐渐好转, 每年上交探明石油地质储量

在 $1000 \times 10^4 \text{ t}$ 左右 (图 4)。

1993 年以来, 八面河油田的自然递减率超过 20%, 南区自然递减率大的主要原因是油稠、出砂, 使得油井含水上升快; 北区则是由于特殊的地质条件, 边底水活跃, 含油宽度窄、油砂体较小, 采油速度高, 加速了水的突进, 造成水上升快。这些因素致使油田稳产困难。

(三) 八面河探区成藏研究现状

1. 油源认识方面

八面河原油曾被公认为典型的低熟油, 前人研究一致确认八面河低熟油为 E_{s4} 低熟烃源岩所提供 (表 1)。牛庄洼陷南斜坡未熟—低熟烃源岩何以提供如此丰富的油气? 其生成、运移与聚集的地质条件何在? 对于八面河等典型未熟—低熟油气区原油成因与成藏规律的探讨, 将对现有成烃理论的研究及八面河等同类地区的油气勘探实践势必产生深远的影响。

表 1 八面河原油研究概况

观点	研究者	证 据
低熟油	周光甲, 1987	原油生物标志物特征: 原油具低度异构化特征; 植烷、 γ -蜡烷含量高
	陈致林等, 1989	原油生物标志物特征: 异构烷烃、环烷烃丰富; 高异/正烷烃比值; 高 Pr/nC_{17} (1.37)、 Ph/nC_{18} (3.16), 低 Pr/Ph (0.33); 生物标志物中生物构型化合物占优势, 甾、萜烷异构化参数远未达到异构化终点, C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 、 $\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$ 均值分别为 0.31、0.32; Ts/Tm 值低 (0.51); 高丰度 γ -蜡烷
	张春荣, 1989	原油生物标志物特征: 甾烷的异构化程度低; 高 γ -蜡烷含量
	洪志华等, 1989	原油特性 ①物性: 原油密度大 ($0.9385 \sim 0.9553 \text{ g/cm}^3$)、粘度高 ($653.33 \sim 1500.46 \text{ mPa} \cdot \text{s}$) ②族组分: 低饱和烃、高芳香烃和非烃含量, 与低熟生油岩族组分相似 ③生物标志物: 高植烷、低姥/植比; 正烷烃偶碳优势; 富含 γ -蜡烷; 藿烷 $C_{35} > C_{34}$; 甾烷异构化程度低
	张林晔等, 1999	原油特性 ①物性: 高密度、高粘度、较低粘固点, 较高含硫的重质稠油 ②族组分: 低饱和比、高非沥青比 ③生物标志物: $nC_{21}^-/nC_{22}^+ < 1$; 低 Pr/Ph 值 (0.35); 类胡萝卜烷完整系列、 $C_{27}-C_{29} 5\beta$ (H) 粪甾烷、 $C_{30}-C_{31}$ 羊毛甾烷、脱羟基维生素 E 的检出; 萜类化合物具有高含量 γ -蜡烷、高 C_{35} 藿烷 ($C_{35} \geq C_{34} > C_{33}$) 的特征 未熟烃源岩热模拟实验: 烃源岩有两个生油高峰 牛庄洼陷沙四段页岩成烃模式: 呈双峰形式 所确定的油源层—— E_{s4} 油页岩为半咸化原始沉积环境
混合油	宋一涛等	富含 γ -蜡烷, 生油岩烃产率曲线一直呈增加趋势; 含 γ -蜡烷的生油岩都含有干酪根, 达到其热解生油温度时, 其降解烃将与非干酪根降解烃一起排出

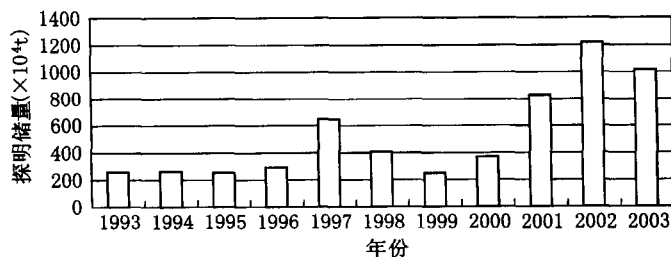


图 4 1993—2003 年历年探明石油地质储量柱状图

2. 八面河油气成藏机理与模式研究方面

1) 油气聚集的特点

八面河油田的勘探实践表明, 油气聚集受构造、储层及其他地质条件的影响, 使得八面河油气聚集表现出如下的特点: ①受反向断层的控制, 油气聚集于断块的“屋脊”部位; ②多层系含油, 主力含油层系突出; ③八面河鼻状构造带油气相对富集; ④油气差异聚集特征明显。

2) 油气成藏模式

八面河探区断层发育, 断裂活动控制了油气的聚集, 使得本区油气藏的特征表现为以断层油藏为主, 油藏数目多, 但规模小。断块控制了油气的富集, 斜列式反向断层对油气的遮挡作用具有广泛性和相对性, 形成了众多的局部圈闭构造, 而继承性断裂活动为油气运移提供了良好的通道条件。八面河油田油气运聚成藏的模式一般是: 沙河街组提供油源、油气以断层、储层和不整合面为主要运移通道, 油气作侧向或垂向运移形成油气藏。目前提出的八面河油气成藏主要模式如下。

(1) 与断裂有关的成藏模式 平行构造走向线的反向断层有利于油气聚集, 继承性发育的断层为油气运移提供了良好通道 (图 5a)。油源主要来自沙四段生油层系, 油气运移方向垂直于构造走向线运移, 因此平行于构造走向线分布的反向断层有利于油气遮挡聚集。

(2) 地层油藏成藏模式 地层油藏形成受特定地质结构所控制, 如八面河南区的馆陶组超覆结构, 馆陶组下部砂岩发育, 邻近不整合面, 是油气运移的良好通道。东营运动使断裂活动, 有利于油气向上运动, 受古地形影响, 南部斜坡区是油气运移的指向。因而在南部斜坡区形成地层超覆不整合油气藏 (图 5b)。

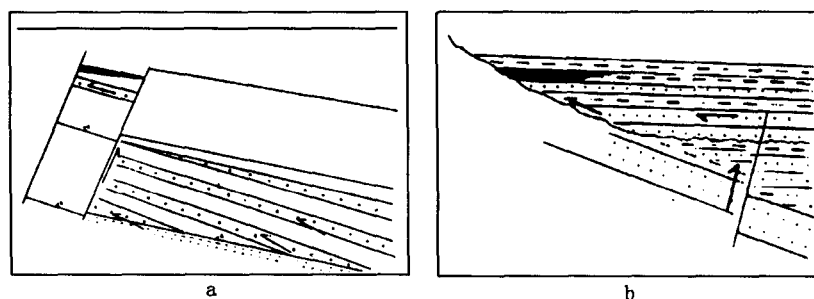


图 5 八面河油气成藏模式图

a—与断裂有关的成藏模式; b—地层油藏成藏模式

(四) 八面河探区油气勘探面临的挑战

八面河探区是一个高勘探程度地区, 勘探取得突破已越来越难。剩余资源品位低、分散、经济效益差, 潜在圈闭面积小、幅度低、钻探风险大; 地层圈闭和古潜山的成藏条件及含油规模不清、勘探风险大。在开发上, 由于油田具有断层多、断块小的特点, 导致新井初期产量高但递减快; 油层物性好, 但油层非均质性严重, 油水界面多、地饱压差大。上述特点导致了油田含水上升快, 一般油田初期的含水为 50%~60%, 3 年后均能达到 80%。

目前, 对于八面河油田的油气成因机理、油气分布特征与主控因素、成藏机理等方面仍有值得探讨的地方。

1. 烃源岩的认识有待进一步深入

曾经深入研究了低熟油和末熟油的形成条件和形成机理,但没有阐明低熟油和末熟油的成藏条件和成藏机理,尤其是低熟油的排运动力和效率。八面河探区发现了大量的油气,一般认为对烃源岩的研究已经没有问题了。但对于这一套巨厚的烃源岩到底哪一段是最好的、对周围油气藏的供油气起决定作用的问题还认识不清。对于储层的非均质性目前已有很好的认识,而对于烃源岩(尤其是巨厚的烃源岩)的非均质性还缺乏有效的研究。因此,研究烃源岩的非均质性,分析巨厚烃源岩中的有效烃源岩层段并对其进行评价是分析油气的有效充注和成藏机理、研究油气藏组合体、对目标区进行有效勘探的理论基础。

2. 油气分布特征与主控因素有待进一步深化

八面河探区油气分布特征与主控因素有待进一步深化,主要表现在:①八面河油田的油田源尚待进一步澄清,对于具体砂层组或油藏中油气的来源还没有人进行过精细的对比研究。具体砂层(组)中的油来自哪些烃源岩?各自的量是多少?缺乏精细的对比;②断层的控油气作用(通道还是封堵)尚不完全清晰;③八面河探区油气分布的主控因素与地质模式的研究不系统,研究尚停留在现今油气藏分布特征的总结上,油气的分布规律尚需一系列的地质模式给予圆满的解释。

3. 成藏机理与模式缺乏精细研究

八面河探区是一个高勘探程度地区,勘探取得突破越来越难。通过“摸着石头过河”的方式,不断在原有构造油气富集区带的周边扩大油气的勘探范围,发现了砂岩透镜体等多种类型的隐蔽油气藏。这种滚动勘探虽然能够取得成效,但缺乏理论指导,尤其是对于地层圈闭、岩性圈闭和古潜山的成藏机理与条件、含油规模不清,钻探的成功率波动大。随着勘探方向的三个转变,即勘探目的层向上(馆陶组、明化镇组)、向下(孔店组、中生界)的转变、勘探区块向南北两侧转变和勘探的油气藏类型向隐蔽型转变,迫切需要对该地区油气成藏的问题进行分析,提高勘探的成功率。

但是,对于八面河探区油气成藏的研究,目前还很不够。主要体现在:①过去对八面河油气运移、聚集成藏过程缺乏系统研究,对油藏主要注入点认识不清,对油气主要运移方向研究缺少充分的地质、地球化学依据。对断裂、不整合面作为通道控制油气运移和聚集的作用未作出深入的研究,对岩性油藏的油气充注动力未进行分析;②尚未开展油气运聚成藏机理研究。从现有的油气藏类型来看,该地区的断裂、不整合和储层性质对油气运聚成藏起到了重要的作用。目前的研究也仅限于定性的分析,缺乏这些因素作用下油气运聚成藏的动态、定量分析。不整合、断裂如何控制油气的运聚成藏?储层本身的非均质性对油气运聚有何影响?另外,隐蔽油气藏的勘探虽然成效显著,但目前对透镜体砂岩成藏的动力来源、油气充满度和充有油气砂体的饱和度的主控因素和变化规律不明确。解决这些机理性问题对于提高钻探成功率具有重要意义。

三、研究内容与研究方法

(一) 研究内容

八面河油田是高勘探成熟区,在高勘探地区如何进一步提高勘探的成功率、稳定油气产量,是八面河油田目前面临的迫切问题。本书在总结该地区石油地质特征、油气藏分布特征及勘探实践的基础上,具体研究内容为:

①八面河油田的油气成因机理,解决该地区的油气来源问题;

②八面河油田的油气成藏机理,通过地球化学手段、结合模拟实验阐明该地区的油气运

聚有效通道和成藏机理；

③八面河油田油气挖潜勘探理论与方法研究；

④有利勘探目标评价，即油气挖潜勘探实践与成效，为下一步勘探部署提供依据。

(二) 研究方法

本书依据地球化学指标确定八面河探区有效烃源岩的空间展布和油气成因机理；通过分析八面河探区油气分布的规律和特征，总结出控制八面河油气分布的主要因素并建立八面河探区油气分布特征的地质与地球化学模型；通过详细解剖八面河探区的油气藏特征、精细的油—源对比、有效烃源岩的定量分析和圈闭发育历史的精细研究，建立该区油气成藏的动态模型，结合物理模拟实验阐明油气运聚机理和模式，利用数值模拟再现八面河探区油气成藏的过程，最终确立八面河油气成藏的组合模式。同时，结合八面河潜在油气资源量的研究，指出八面河最有利的勘探区，并进而指导东营凹陷南斜坡乃至整个东营凹陷的油气勘探。本书具体的研究技术路线流程框图如图 6。

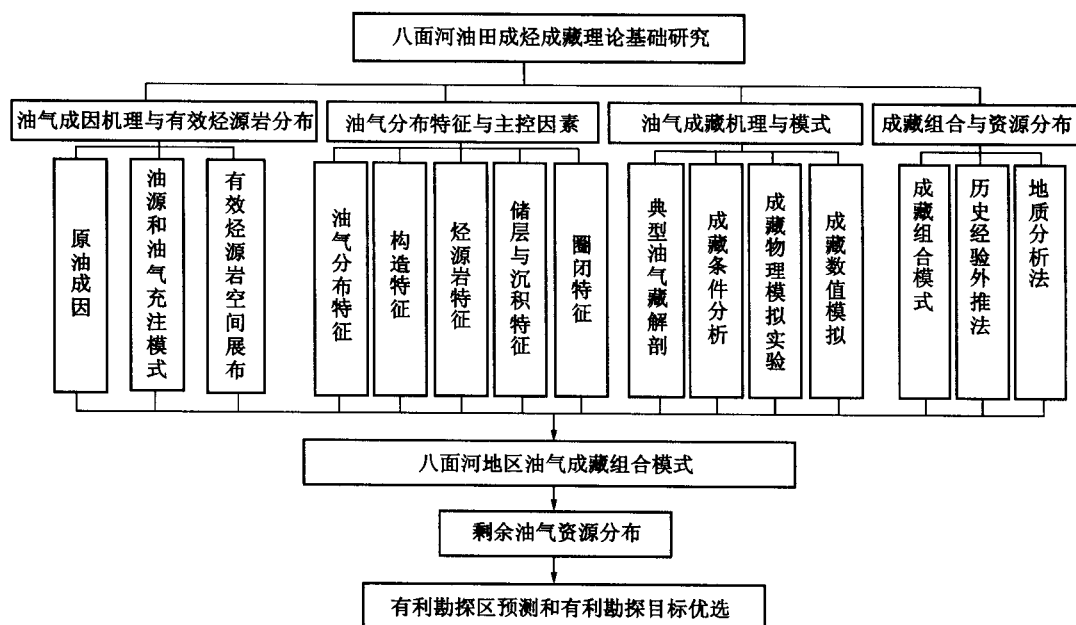


图 6 本书的技术路线流程框图

四、创新成果与实用效益

(一) 获得的创新成果

根据大量的地球化学分析资料、物理模拟实验数据和资源评价结果，在八面河油田的油气成因、运聚机理、成藏模式和剩余资源量等方面取得了一系列创新成果，主要论述如下。

①明确指出了八面河油田不完全属于未熟—低熟成因的油田，八面河探区原油既有未熟—低熟油的显著特征，又有成熟油特征，为混有未熟—低熟烃类和（或）未熟—低熟油与成熟油的混合原油。混合定量计算指示，八面河油田主体为成熟油，未熟—低熟油的含量可在 10% 以内，一般不超过 20%。这一结论为在八面河探区开展较大规模的油气勘探提供了理论指导。长期以来，八面河油田的原油被视为典型的未熟—低熟成因的原油，烃源岩被认为来自牛庄洼陷至八面河油田之间斜坡带上的处于未熟—低熟阶段的沙三段油页岩。由于

这套烃源岩厚度薄、分布范围局限,能够提供的油量有限。在这种观念下,八面河油田的剩余资源潜量有限,不可能开展大规模的油气勘探。

②通过精细油源对比和含氮化合物研究,首次提出八面断裂带原油主要来自牛庄洼陷,其次为广利洼陷,最后为南斜坡带。羊角沟油田绝大部分原油并非原地成因,广利洼陷或其他近源生油洼陷为该油田可能的油源区。广北斜坡带主体原油亦非来自邻近沙四段未熟—低熟烃源岩,而是邻近的生油洼陷。羊角沟油田西部的广利洼陷为其可能的油源区。

③依据排烃门限理论、三端元式理论模型和积分连续式理论模型,对八面河探区不同地区不同层位不同阶段烃源岩相对贡献量进行了评价,八面河油田原油主要来自牛庄洼陷,其次为广利洼陷,贡献比例分别为 78.6%、21.4%;八面河探区沙三、沙四段烃源岩排烃量相近,分别占 49.6%、50.4%;八面河油田原油主要来自泥岩,其次为页岩,各占 75.5%、24.5%;八面河油田的原油主要来自成熟烃源岩,成熟与未熟—低熟阶段的相对含量分别约为 95.9%、4.1%。

④八面河油田以断层、不整合面及局部砂岩储层为主要运移通道,形成以断块、断鼻油藏为主的油气藏;广北斜坡带以反向屋脊断层与岩性相结合,形成断块—岩性油藏为主的油气藏。系统总结了八面河探区深、浅层成藏地质模型。

⑤探讨了隐蔽油气藏成因理论,运用三元成藏和复式油气聚集带等理论预测八面河探区北部斜坡带和南部斜坡带是隐蔽油气藏勘探的重要领域。

(二) 实用效益

八面河探区是渤海湾盆地东营凹陷南坡上的一个二级构造单元,也是一个独立的成藏体系。目前的八面河油田共计包括 40 个含油气区块,自 1966 年发现后至 2000 年已探明石油储量 $9628 \times 10^4 \text{t}$ 。八面河油田内已钻探井 136 口,“八五”以来,尽管每年还部署一些探井,但探明的储量仅有 $30 \times 10^4 \sim 50 \times 10^4 \text{t}$,勘探工作十分被动。造成这种局面的根本原因是对八面河油田的成因机理,尤其是油气来源不明了,缺少有效的理论指导。

成熟探区挖潜理论研究解决了八面河探区多年来存在的重大理论问题和许多生产实际问题。它为清河采油厂 2000 年至 2003 年在八面河油田以南探明储量 $1014 \times 10^4 \text{t}$ 、控制储量 $1102 \times 10^4 \text{t}$ 、预测储量 $1048 \times 10^4 \text{t}$ 起到了重大的指导作用,这些油气藏在传统观念下不可能得到勘探和发现。这三年在新的理论指导下发现的油气藏包括:

探明:面 138 块沙四段含油面积 17.1 km^2 ,油层厚 2.9 m,储量 $1014 \times 10^4 \text{t}$;

控制:滩二块沙四段含油面积 2.4 km^2 ,油层厚 16.8 m,储量 $568 \times 10^4 \text{t}$;

控制:面 138 块沙三段含油气面积 2.6 km^2 ,油层厚 10.2 m,储量 $534 \times 10^4 \text{t}$;

预测:面 138 块沙三段含油面积 1.5 km^2 ,油层厚 1.5m,储量 $308 \times 10^4 \text{t}$;

预测:羊角洲沙四段含油面积 7.4 km^2 ,油层厚 7.4m,储量 $740 \times 10^4 \text{t}$ 。

依据目前技术条件和油价标准计算,上列增加地质储量能够为油田带来的直接经济效益可达数十亿元人民币。