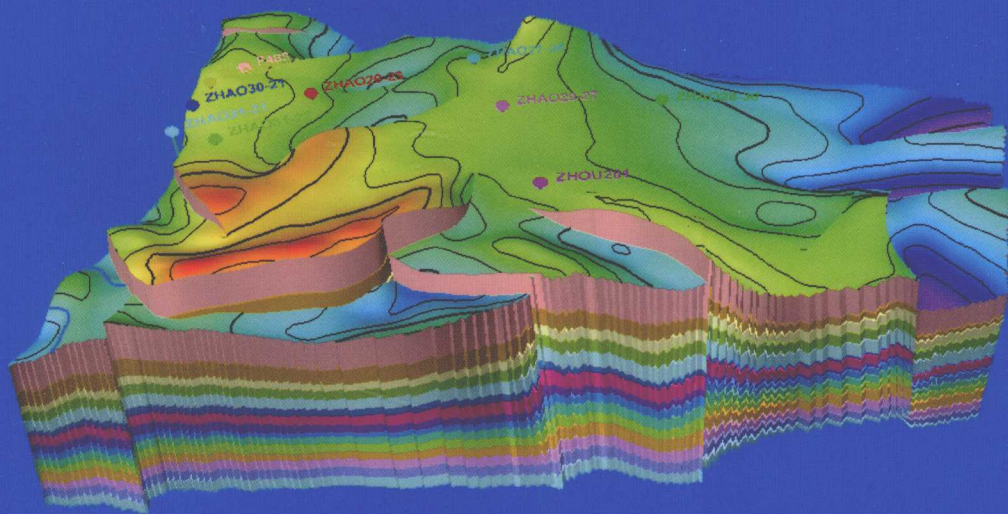


SONGLIAO PENDI SANZHAOAOXIAN TEDISHENTOU
FUYANGYOU CENG KAIFA LILUN YU SHIJIAN

松辽盆地三肇凹陷 特低渗透扶杨油层开发理论与实践

姜洪福 雷友忠 等著



地质出版社

内 容 提 要

本书阐述了松辽盆地三肇凹陷特低渗透扶杨油层的各项理论研究及矿场试验成果。全书内容共分 6 章, 包括构造特征与演化、储层宏观地质特征、储层微观特征、石油地质特征、矿场开发试验等内容。

本书适宜于油气开发和油气地质勘探专业的师生以及油气开发工作者阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

松辽盆地三肇凹陷特低渗透扶杨油层开发理论与实践 /
姜洪福等著. —北京: 地质出版社, 2009. 11

ISBN 978 - 7 - 116 - 06377 - 8

I. ①松… II. ①姜… III. ①松辽盆地 - 低渗透油层
- 油田开发 - 研究 IV. ①TE348

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 202704 号

责任编辑: 孙亚芸

责任校对: 李 玫

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010)82324508 (邮购部); (010)82324569 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010)82310759

印 刷: 北京地大彩印厂

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 11.75

字 数: 283 千字

版 次: 2009 年 11 月北京第 1 版 · 第 1 次印刷

定 价: 40.00 元

书 号: ISBN 978 - 7 - 116 - 06377 - 8

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

序

特低渗透油田不仅储层渗透率低,而且往往原油性质也较差,具有非达西渗流特征。对该类储层的有效开发可谓是一个世界性的难题,目前国内外尚无成熟配套的技术可供借鉴。

在过去近 20 年时间里,针对大庆外围特低渗透扶杨油层的地质特点,大庆油田组织开展了大量的科学研究和开发试验,初步形成了从富集区优选、开发方案设计到钻井、采油和地面工程的开发技术系列,使渗透率较高或裂缝较发育的扶杨油层得到了有效动用。但渗透率在 $2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以下的裂缝不发育扶杨油层的开发技术还处于试验攻关阶段。据初步统计,目前仅大庆油田就有特低渗透储量 4 亿多吨,在全国有数十亿吨。因而,努力攻克特低渗透油田有效开发面临的技术难题,已成为我国陆上石油工业实现持续有效发展的一项迫切的战略任务。

1989 年以来,大庆油田先后开辟了 8 个特低渗透扶杨油层先导性开发试验区,开发过程中主要表现出单井产量低、注水受效差、采油速度低、采收率低、投资高和效益差等特点,无法实现特低渗透、裂缝不发育扶杨油层的有效动用。进入 21 世纪以后,大庆油田广大技术人员针对特低渗透扶杨油层开发过程中存在的主要问题,在充分总结吸取先导性试验区开发经验和教训的基础上,主要采取了两种技术对策:一是突破了传统的正方形井网布井方式,在油藏精细地质研究的基础上,采取矩形井网结合大规模开发压裂的注水开发技术;二是 CO_2 驱油技术。这两种技术对策在矿场实践中均取得了显著成效。

肇州油田州 201 试验区采取矩形井网、直井与水平井联合布井的方式,通过大规模开发压裂实现有效驱动,矿场试验取得了较好效果。宋芳屯油田芳 48 区块 CO_2 驱油先导性矿场试验表明,扶杨油层注气压力较低,油层吸气能力较强,油井见到明显的注气效果。这两项技术对提高大庆外围特低渗透扶杨油层的储量动用程度具有重要意义。

姜洪福等专家完成的这本《松辽盆地三肇凹陷特低渗透扶杨油层开发理论与实践》一书,在大量调查研究的基础上,结合大庆外围油田实际,对三肇凹陷特低渗透扶杨油层的沉积特征、构造特征、储层宏观分布和岩石微观特征、石油地质特征及重大矿场开发试验等方面进行了详细的总结和分析,对三肇凹陷乃至全国特低渗透油田加快有效开发步伐,具有重要的参考价值。

陈发景

2008 年 9 月 20 日

前 言

我国东部各老油田相继进入高含水开采期，稳产难度进一步加大。已探明或待提交的储量多位于特低渗透、低流度的低产油藏，受其自身条件的限制，开采难度极大，甚至无法实现有效开发。因此，攻克这类储层的开发技术，是我国陆上石油工业实现“东部硬稳定”的重大战略举措。

位于大庆长垣外围东部地区的三肇凹陷扶杨油层属于典型的特低渗透油藏，具有渗透率低、流度低、可动油饱和度低、驱油效率低、喉道半径小且分布范围窄等特点。为了探索实现其有效开发的配套技术，1989年以来，大庆油田高度重视，积极组织开展理论研究和矿场试验，为特低渗透油藏的有效开发积累了丰富的经验和技術。

我们详细收集整理了三肇凹陷特低渗透扶杨油层的各项理论研究及矿场试验成果，在各级领导、老师和同事的大力支持下，本书终于如愿以偿与广大读者见面了！

全书共分六章：第一章——绪论，根据三肇凹陷扶杨油层近20年来的研究和开发情况，概要性地总结了研究区目的层段地质概况；第二章——构造特征及演化，重点分析了扶杨油层断裂系统；第三章——储层宏观地质特征，应用高分辨率层序地层学原理，对扶杨油层的储层沉积特征、储层宏观分布特征及影响因素等进行了研究；第四章——储层微观特征，重点对扶杨油层的岩石学特征、孔隙类型、孔隙结构、储层物性、成岩作用及孔隙演化等特征进行了分析；第五章——石油地质特征，对扶杨油层生、储、盖、圈、运、聚、保等成藏因素进行了分析；第六章——矿场开发试验，重点介绍了大庆外围扶杨油层早期注水开发实践及存在问题、肇州油田州201试验区扶杨油层有效开发试验和宋芳屯油田芳48区块扶杨油层CO₂驱油先导性试验情况及认识。

中国地质大学陈发景教授审阅了本书稿并提出了宝贵意见，作者对此深表谢意！

感谢大庆油田隋军、徐正顺、李莉、张玉广、宋静、曹海涛，大庆石油学院吕延防，中国地质大学（北京）于兴河等专家和技术人员为本书的出版所做出的贡献！

由于作者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正，在此表示衷心的感谢！

目 次

序

前 言

第一章 绪论	(1)
第一节 地质概况	(1)
一、浅层两个超层序	(2)
二、隆凹相间的构造格局	(3)
三、充足的油源	(3)
四、水系汇集	(4)
五、运移条件良好	(4)
六、油气运移波及范围含油	(6)
第二节 勘探开发现状	(6)
一、预探阶段	(7)
二、评价及滚动开发阶段	(7)
三、开发现状	(7)
第二章 构造特征及演化	(8)
第一节 构造特征及其演化	(8)
一、构造特征	(8)
二、构造演化	(8)
第二节 断层特征与演化	(10)
一、断层几何特征	(10)
二、平面组合	(14)
三、断层系	(17)
第三章 储层宏观地质特征	(25)
第一节 沉积特征	(25)
一、层序划分与对比	(25)
二、沉积微相与展布规律	(29)
三、宏观非均质性	(42)
四、砂体连通性	(44)
第二节 地应力分布	(44)
一、地应力方向	(45)
二、地应力大小	(47)

三、综合柱状应力剖面·····	(48)
第三节 储层分布特征及影响因素·····	(49)
一、砂体展布特征·····	(50)
二、储层分布特征·····	(51)
三、储层宏观特征影响因素分析·····	(51)
第四章 储层微观特征·····	(54)
第一节 储层储集性·····	(54)
一、研究方法·····	(54)
二、岩石学特征及孔隙类型·····	(55)
三、孔隙结构·····	(60)
四、储层物性·····	(67)
第二节 成岩作用与孔隙演化·····	(68)
一、成岩作用·····	(68)
二、成岩作用阶段及孔隙演化·····	(73)
第三节 微观特征影响因素·····	(77)
一、压实作用及胶结作用·····	(77)
二、溶蚀作用·····	(77)
第五章 石油地质特征·····	(80)
第一节 油气水组成与油藏温压·····	(80)
一、原油组成及性质·····	(80)
二、天然气组成及性质·····	(81)
三、地层水组成及性质·····	(81)
四、油藏压力·····	(81)
五、油藏温度·····	(81)
第二节 油气成藏模式·····	(82)
一、成藏条件·····	(82)
二、油气成藏机理·····	(84)
三、油气成藏模式·····	(87)
四、油气藏类型·····	(88)
五、开发试验区解剖·····	(93)
第三节 储层四性关系·····	(96)
一、岩性、含油性与物性关系·····	(96)
二、岩性、含油性与电性关系·····	(97)
第四节 砂岩分层标准及砂岩划分·····	(99)
一、砂岩分层标准·····	(100)
二、砂岩划分·····	(103)
第五节 油水层识别及有效厚度·····	(103)

一、油水层识别标准	(103)
二、储层物性下限标准	(106)
三、岩心划分有效厚度	(109)
四、有效厚度电性标准	(110)
五、扣除低阻夹层标准	(113)
六、电性划分有效厚度	(113)
七、有效厚度对比	(115)
第六节 敏感性及渗流特征	(115)
一、储层敏感性特征	(115)
二、可动流体饱和度特征	(117)
三、非达西渗流特征	(118)
四、相对渗透率曲线特征	(118)
第六章 矿场开发试验	(119)
第一节 早期注水开发实践	(119)
一、开发实践	(119)
二、主要问题	(121)
第二节 有效开发试验	(122)
一、基本情况	(122)
二、储层预测技术	(127)
三、井网优化设计技术	(132)
四、压裂技术	(137)
五、水平井开发技术	(144)
六、试验效果	(149)
七、结论及建议	(153)
第三节 二氧化碳驱油先导性试验	(154)
一、基本情况	(154)
二、可行性研究	(155)
三、方案设计与实施	(162)
四、试验成果	(166)
参考文献	(176)

第一章 绪 论

第一节 地 质 概 况

三肇凹陷位于松辽盆地中央坳陷区，其西侧为大庆长垣，北侧以汪家屯气田为界，东侧以榆树林油田为界，东南侧为朝阳沟油田，南侧以州 13 试验区为界，研究区面积约 2000km²（图 1-1）。从松辽盆地区域地质规律可以看出，松辽盆地中浅层是大型坳陷型盆地，构造活动相对平缓，沉积相对稳定。三肇凹陷内青山口组一段（以下简称青一段）

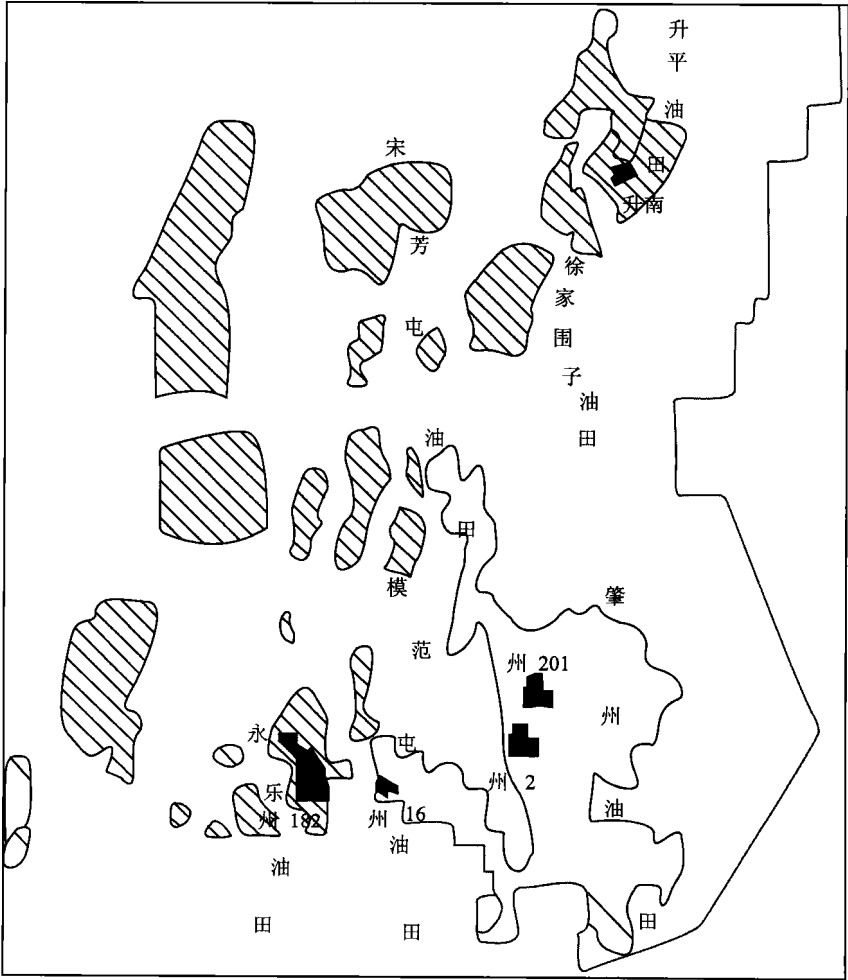


图 1-1 研究工区位置图

沉积了厚度大于 100m 的泥岩，且进入生烃门限，为扶杨油层提供了充足的油源。泉头组三、四段（以下简称泉三段、泉四段）地层厚度大于 500m，3 条主要的河道在三肇凹陷交汇，三角洲前缘水下分流河道砂错叠连片，为形成大面积的岩性油藏提供了有利的储集空间。松辽盆地经过多年的研究，已经获得了成熟的地质认识。

一、浅层两个超层序

松辽盆地中浅层具多级次旋回性，以姚家组底界不整合面为界，划分为上、下两个超层序（图 1-2），即泉头组三、四段—青山口组的下部超层序和姚家组—嫩江组的上部超层序。每一超层序内部均由水进—水退的沉积旋回构成，控制了全盆地的含油气系统的特

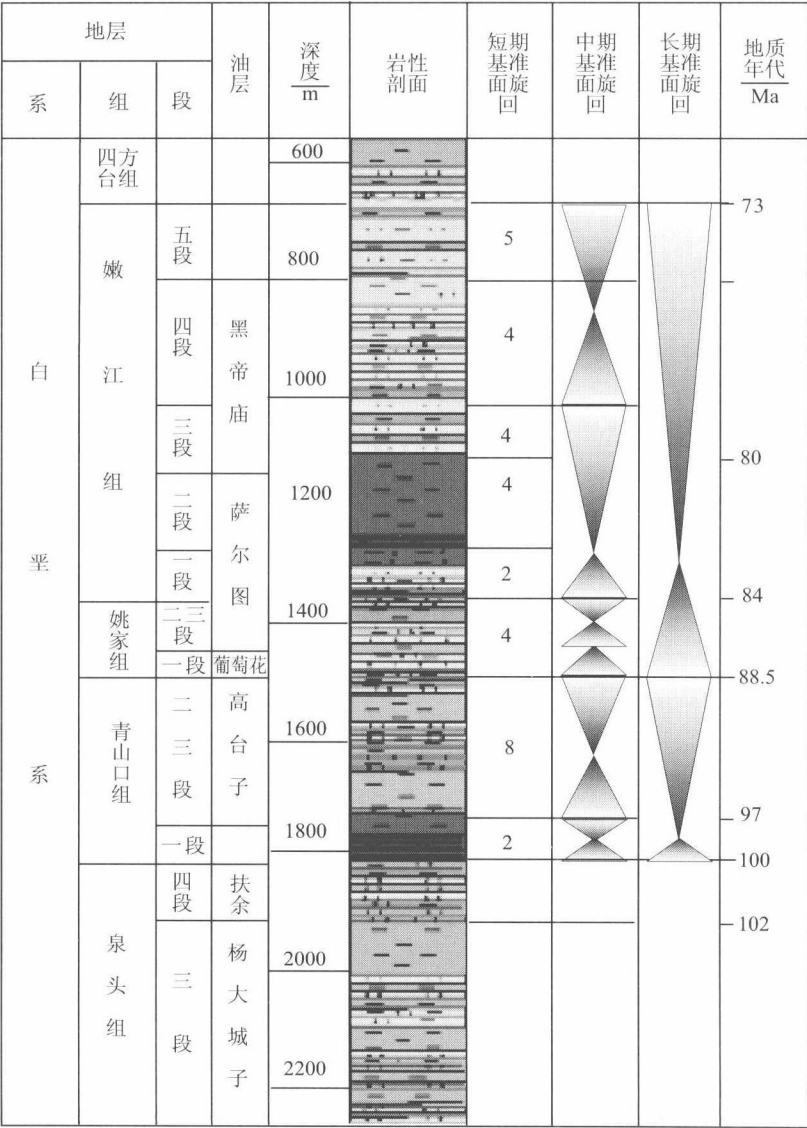


图 1-2 松辽盆地中浅层地层综合柱状图

征与油气宏观分布。两个超层序的低位体系域分别为泉三段、泉四段早期和姚一段（姚家组一段），水进体系域分别为青一段和姚二、三段—嫩一段（嫩江组一段），高位体系域分别为青二、三段和嫩二、三、四、五段，密集段分别为青一段和嫩二段底部。

泉三、四段层序的特点是多期河流准层序构成向上变细、砂层向上变薄的序列，厚度为几十米至几百米，自下而上呈现：砂质辫状河—曲流河或分流河道—交织河（水下河道）—泛滥平原（滨浅湖）的相序变化。低位体系域以下切河谷或辫状河沉积为特征，水进体系域以曲流河—分流河道—低能交织河沉积为主，构成退积型序列；高位体系域以低能交织河和泥沼沉积为特征，构成加积型序列。层序特征总体上反映可容空间增长速度变慢、地形变平坦的过程。

泉四段沉积末期，湖泊急剧扩张，并发生了湖侵，开始了大型湖盆的演化历史，湖平面达到松辽盆地历史上第一次最高，沉积了3层分布广泛的油页岩，为超层序的密集段。此后，青一段在半咸水深水背景下发生了两次基准面变动，沉积了两个层序，在盆地南部边缘地区和西部、北部边缘局部地区形成两层包括进积型低水位体系域和退积型水进体系域在内的三角洲沉积层，夹于深湖相泥岩中。泉四段和青一段构成了一个完整的基准面演化旋回，可作为一个层序组。

青二、三段底面相当于层序组的界面，在盆地边缘地区为不整合，表现为冲积扇、辫状河厚层砾岩、砂岩直接与青一段湖相泥岩接触，青一段明显被侵蚀，但在滨洲线以南很快变为相对整合面，共识别出8个层序，以三角洲、湖泊沉积为主。三角洲相相带较窄，以朵状三角洲、叶状三角洲为主，反映湖泊能量较强。青二、三段分界为密集段，在盆地内大部分地区以夹有多层介形虫灰岩的油页岩或富含有机质的页岩层为标志，区域上为退积型准层序组和进积型准层序组的转折，含有钙质超微化石，因此，青二、三段本身构成一个层序组。不同体系域之间形成了多套生储盖组合，上部超层序发育了黑帝庙、萨爾图、葡萄花3套油层，下部超层序发育了高台子、扶余、杨大城子3套油层。

二、隆凹相间的构造格局

在松辽盆地北部具有凹陷和隆起相间分布的构造格局，且构造十分平缓。从西至东划分为西部斜坡区、北部倾没区、中央拗陷区、东北隆起区和东南隆起区5个一级构造单元。

中央拗陷区内，西部的齐家—古龙凹陷和东部的三肇凹陷中间夹持着南北向的大庆长垣。齐家—古龙凹陷构造最低点-2440m，大庆长垣构造最高点为-1133m，高差1300多米。

构造上的分布特点决定了齐家—古龙凹陷和三肇凹陷是松辽盆地的两大生烃凹陷，油气在生烃凹陷内汇聚，并向四周隆起带运移。

三、充足的油源

青山口组一段沉积时期，松辽盆地分布着广阔的湖相沉积，沉积了厚度大于100m的青一段泥岩，齐家—古龙凹陷和三肇凹陷为两个沉积中心。青山口组地层有机质丰度高，

母质类型好，处于生油高峰的成熟阶段。三肇凹陷由于后期抬起，生油门限为 1100m，生油高峰为 1800m。

泉三段有暗色泥岩 15 ~ 20m，经地球化学测试证实亦是生油岩，也能构成杨大城子油层的部分油源。有关松辽盆地青一段生油岩成熟度研究认为，镜质体反射率 R_o 在 0.50% ~ 0.75% 之间为青一段生油岩的低成熟阶段； R_o 在 0.75% ~ 1.10% 之间为成熟阶段； R_o 在 1.10% ~ 1.20% 之间为高成熟阶段。三肇凹陷的中心部位大部分地区都在 R_o 大于 0.75% 的成熟区内，在徐家围子地区 R_o 已达 1.0% 以上，已接近高成熟界限。

四、水系汇集

发源于盆地周边的 6 个水系向坳陷中心汇集，枯水期南北河流交汇向东流出盆地。泉三、四段沉积时期，发源于盆地周边的水系有 6 条（图 1-3）。

讷河 - 依安水系：自讷河附近进入盆地，在盆地边缘形成冲积扇，流向正南，在林甸附近分为两个支流。西支沿小林克 - 敖古拉断裂带南流，与来自白城的河流汇合；东支流向大庆长垣地区，分为多个支流，对三肇凹陷有影响。

拜泉 - 青岗水系：从拜泉、海伦一带进入盆地并形成冲积扇体，继而河流向南偏西方向经明水地区至安达以北地区开始分流为 3 个支流，西面两个支流分别自安达、宋站地区流入三肇凹陷，东面一支流入肇东后继续东流。此水系主要控制了三肇凹陷北部的沉积作用。

怀德 - 长春水系：自长春 - 怀德方向流入盆地，并一直北流，在前郭附近开始分流，主要控制了三肇凹陷南部茂兴、肇源、肇州、徐家围子、长春岭、朝阳沟及榆树林南部等区的沉积作用。

保康水系：河流自保康方向流入盆地后流向北东，主要控制乾安隆起以东地区沉积作用。当边缘凹陷被充填后，短期越过隆起，向北、向东分别汇入白城水系和怀德 - 长春水系。

白城、英台水系：为一系列分散的短小河流，古水流由白城向东，影响大安、长垣南地区。

齐齐哈尔水系：起源于齐齐哈尔，向东南流，在泰康南部汇入讷河水系。

这 6 条水系中，讷河 - 依安水系、拜泉 - 青岗水系和怀德 - 长春水系为 3 个源远流长的大水系，是该时期控制松辽盆地沉积作用的主导水系。洪水期时，湖面扩张，来自盆地周边的各条河流入湖并形成三角洲沉积。随着三角洲的进积，湖泊被充填、消失，来自盆地周边的各方向的河流在坳陷中心汇合，并转头向东流出盆地。

五、运移条件良好

以超压为动力、 T_2 开启断层为通道，向下排烃是形成扶杨油层岩性油藏的运移条件。

三肇凹陷黏土矿物的大量脱水深度为 1200 ~ 1500m，早于大量生油高峰期（1800m），这样以水为载体的初次运移受到影响，有相当部分生成的原油滞留在生油岩中，形成异常高压带，这种压力成为通过后期形成的裂隙进行运移的动力。

油与源岩芳烃核磁共振氢谱对比、三肇凹陷榆树林地区原油和可能源岩抽提物芳烃组分核磁共振氢谱测定,计算的三类氢原子相对含量构成的三角图表明,扶余和大部分杨大城子油层的原油与青一段生油岩有亲缘关系,同时另一部分杨大城子油层的原油与泉头组生油岩又有一定联系,反映扶杨油层的原油来自青一段生油岩,并有泉三段生油岩的贡献,这与生物标志物对比结果相吻合。根据源岩生油量的计算结果推断,扶杨油层的原油90%以上来自青一段泥岩,其余部分来自泉头组生油岩。

以超压为动力,断层为通道,三肇凹陷向下排烃深度达300多米。经盆地模拟计算,三肇凹陷青一段在嫩江组沉积末期开始形成超压,到明水组沉积末期达到最大,流体异常压力发生突变,使青一段烃源岩产生微裂缝,排出具有10MPa的异常流体,沿断层向下进入储层。从明水组沉积末期青一段异常流体压力逐渐释放到现在,构成了异常流体形成→高峰→释放的排烃过程。青一段在明水组沉积时期,当超压达到10MPa时,压力梯度就达到1.5MPa/100m,产生微裂缝,释放流体。压力梯度达到1.5MPa/100m的地区主要在徐家围子与榆树林南(621km²),其次发育在肇州及以东地区(70km²)和头台—茂兴地区(3km²)。在其上覆的青二、三段450m厚层泥岩盖层和断层的配合下,青一段依靠超压向扶杨油层排液。经计算青一段流体可垂直向下运移300多米,再加上200多米的构造高差,定量地解释了榆树林油田油柱高度大于500m的现实。

由此看出,三肇凹陷石油向下运移是各种地质条件相匹配产生的。在嫩江组沉积末期及以后的构造运动中,由于稳定的三角体受构造力的影响,在青一段底部的T₂层形成一系列张性断层,而这时正值烃源岩层的生烃高峰期,产生超过10MPa的超压,上覆地层有青二、三段及嫩江组超过1000m的巨厚泥岩区域盖层,下伏扶杨油层砂岩很发育,构造了这种向下运移的独特模式。

六、油气运移波及范围含油

扶杨油层存在一个宏观油水包络面,油气运移波及的范围内普遍含油。从扶杨油层纵向宏观油水分布关系看,只要油气运移波及的地区,如果储层物性好,一般都含油。纵向上油水分布关系简单,表现为上油下水,偶见水夹层,这一现象在有利勘探区范围内普遍存在,并被榆树林等油田开发区块所证实。尽管受构造、沉积、储层和超压等多因素控制,不同区块油水界面呈波状变化,但油水分界线的存在及确定,对决定扶杨油层勘探领域具有非常重要的意义。一个地区如果一旦确定了宏观油水界面,那么勘探的主要目标就是预测渗透性储层。

第二节 勘探开发现状

三肇凹陷经历了40多年的勘探开发历程。目前已钻遇扶杨油层的探井229口,开发井121口。截至2007年底,研究区内共探明区块6个,累计探明扶杨油层含油面积280km²,探明石油地质储量 1×10^8 t。另外有控制区块2个,控制石油地质储量近 7000×10^4 t。主要分布在肇州、宋芳屯和永乐油田。

一、预探阶段

区内第1口钻遇扶杨油层的探井是1962年钻探的肇1井,这口井见到了油气显示,没有解释出油层,因此未下套管。区内的第1口发现井为1978年钻探的芳16井,该井在扶杨油层7号层(1956.4~1959.6m),气举日产油1.81t,产水0.12m³,为含水工业油流。1962~1986年的24年间,钻探了约40口预探井,其中有11口工业油流井。

二、评价及滚动开发阶段

1987、1988、1989年,该区进入了钻探的高峰期,并获得大批工业油流井,为上交各级储量奠定了基础。1987年,升平油田升22区块上交扶杨油层石油探明储量 1486×10^4 t;1990年,肇州油田肇40区块上交石油探明储量 5134×10^4 t,州25区块上交石油探明储量 2922×10^4 t;1996年,永乐油田肇42区块上交石油探明储量 4240×10^4 t;1998年,宋芳屯油田芳38区块上交石油探明储量 2241×10^4 t。

三肇凹陷自1989年在升平油田南部开辟试验区以来,先后投产开发井121口,动用含油面积10.2km²,石油地质储量 574×10^4 t。针对扶杨油层有效开发动用问题,曾先后对升南试验区、州2井区、州182和州16合采井区及州201试验区开展了深入的地质研究工作。

三、开发现状

1989年以来,先后开辟了8个先导性试验区,开发过程中主要存在单井产量低、注水受效差、采油速度低、采收率低、投资高、效益差等特点,无法实现特低渗透、裂缝不发育扶杨油层的有效动用。为此,2005年优选肇州油田州201井区开展攻关试验,在储层精细描述研究的基础上,通过矩形井网、大规模整体压裂的直井与水平井联合开发技术,使特低渗透扶杨油层建立了有效驱动体系,矿场试验取得了较好效果,有望成为扶杨油层有效动用的可行技术。

另外,2002年,综合应用相态研究与膨胀实验、细管实验和长岩心实验,系统评价了特低渗透扶杨油层的原油性质和注气驱油效率,并在宋芳屯油田芳48断块开辟了国内第一个渗透率 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 左右的特低渗透油藏CO₂非混相驱油试验区。通过几年来的研究与攻关,初步形成了适合特低渗透、裂缝不发育油藏的CO₂驱油配套油藏工程、采油工程和地面工程技术,实现了扶杨油层的有效动用,为类似油藏的有效开发积累了经验和技術。

经过40多年的勘探,区内已满1km×2km测网的二维覆盖,完成三维地震面积1267km²。尤其是1990年以后,松辽盆地的试油压裂技术进步非常大,使扶杨油层在产能上不断突破,累计探明储量 1×10^8 t。同时,地质认识不断深入,在层序地层学理论的指导下,对扶杨油层岩性油藏的成藏机制和油气分布规律有了较清楚的认识,为其进一步大规模开发奠定了基础。

第二章 构造特征及演化

三肇凹陷扶杨油层断裂发育,最高断裂面密度高达 5 条/ km^2 。 T_2 断层系是扶杨油层油气向下排运的通道,油气成藏关键时刻为构造反转期,反转期断层选择性活动,直接决定了油气的富集规律。本章在认识构造演化史的基础上,系统分析了三肇凹陷扶杨油层断裂特征,对深入揭示工区成藏规律和认识扶杨油层的开发潜力具有实际意义。

第一节 构造特征及其演化

一、构造特征

三肇凹陷总体上表现为南北向展布的环状凹陷,中间是凹陷区,向四周环状隆起。西北部为凸起区,属于大庆长垣东翼,最高 -1450m,高差达 450m。自南向北分布有卫星-宋芳屯南大型古鼻状构造、宋芳屯南-肇州古鼻状构造、升平古鼻状构造、尚家古鼻状构造,东部凹陷区分布有徐家围子、升西向斜以及永乐向斜等构造。

三肇凹陷西北角和东南角的鼻状构造向凹陷延伸的部分在中部相连,将凹陷一分为二。东北角也有一个鼻状构造(升平鼻状构造)。这 3 个鼻状构造对油气聚集有指向作用,是油气富集高产的有利区。

扶杨油层顶面现今构造格局受基底断裂继承性活动控制,在发展过程中表现为以构造沉降作用为特征。三肇凹陷主要受北北东向的黑鱼泡-头台断裂、北西向的滨州断裂、北东向的松花江断裂(为 3 条基底深断裂)控制,三者分别构成三肇凹陷的西界、东北界和东南边界,形成稳定的三角形形态。在它们的控制下,三肇凹陷成为盆地的深凹陷和拗陷中心。跨越孙吴-双辽断裂带东支断裂(任民镇-肇州断裂带)两侧,三级构造具有两重性,西部的汪家屯-升平、宋芳屯-模范屯、肇源和头台鼻状构造均呈近南北向延伸,东部的尚家-榆树林鼻状和朝阳沟背斜则呈北东走向。

二、构造演化

松辽盆地的形成和演化主要经历了断陷-断拗-拗陷-抬升 4 个演化阶段(图 2-1)。在其漫长的地质历史演化过程中,基底断裂不仅控制着断陷期深层断陷的形成和沉积充填过程,而且也控制着沉陷期盆地的沉降和沉积。盆地中浅层的构造类型、成因和分区性,受深部构造控制。

对盆地中浅层构造单元划分控制作用较强的深断裂和基底断裂主要有 3 组:北北东

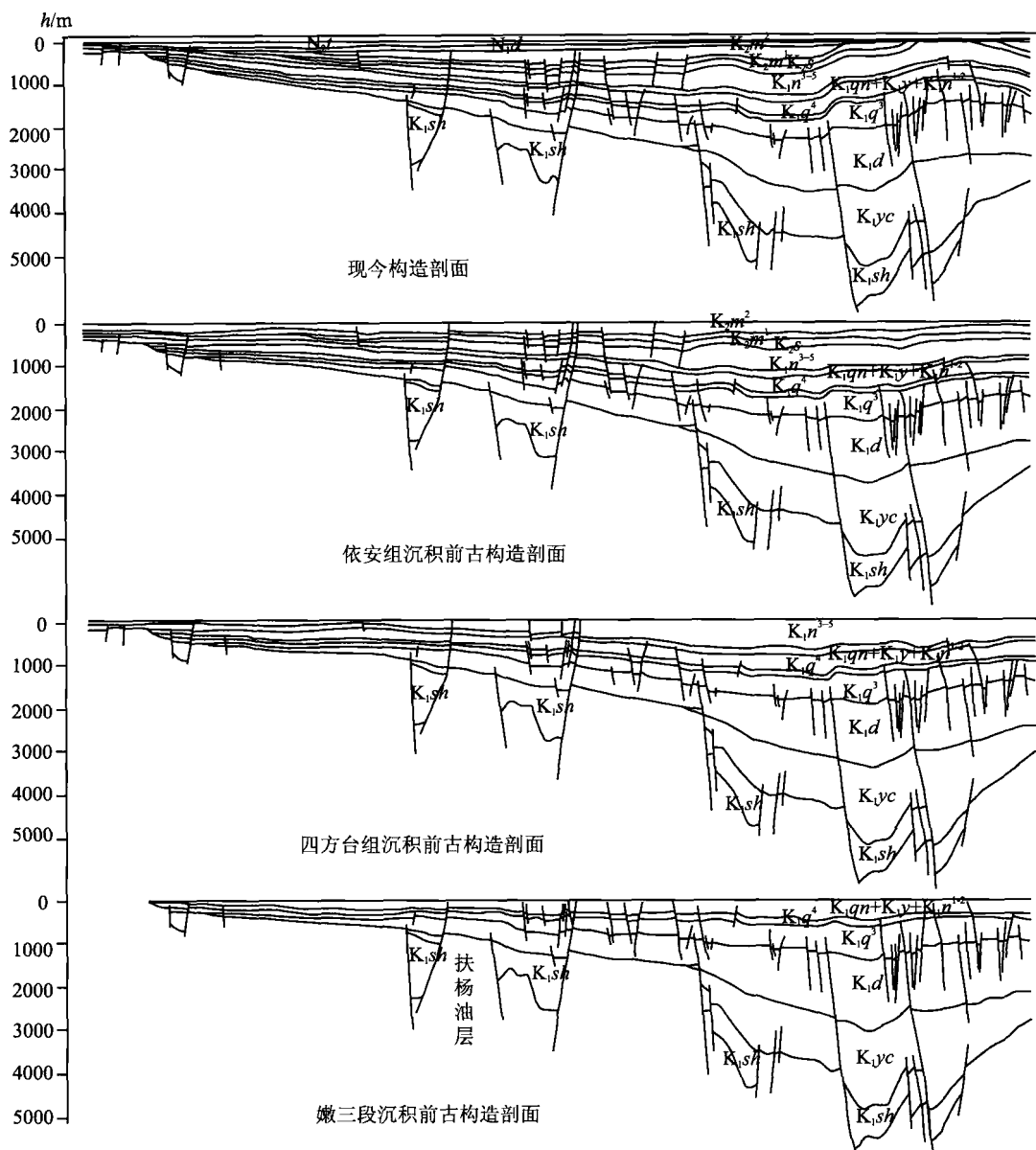


图 2-1 松辽盆地中浅层构造演化史剖面

N_2t —泰康组； N_1d —大安组； K_2m —明水组； K_2s —四方台组； K_1n —嫩江组； K_1y —姚家组；

K_1qn —青山口组； K_1q —泉头组； K_1d —登娄库组； K_1yc —营城组； K_1sh —沙河子组

向、北西向和北东向。北北东向的深断裂控制了盆地中浅层一级构造单元的整体延伸方向，呈北东 20° 左右方向展布。盆地中部的孙吴—双辽断裂系由 3 支平行分布的基底断裂带或深断裂带组成。中央坳陷区东西边界大致就是孙吴—双辽断裂系的东支断裂带（明水—任民镇断裂、肇州—扶余断裂）、西支断裂带（林甸断裂、齐西—敖古拉—哈拉海断裂、大安—保康断裂）。沿孙吴—双辽断裂系的东、西支断裂也是中央坳陷区和北部倾没区与东北隆起区、东南隆起区部分分界和与西部斜坡区的分界线。

松辽盆地北部断穿 T_2 的断层由于受不同构造应力场的作用，导致断层发育期次及成

因不同,按其成因及形成时间可分为3类:一是长期继承性断裂;二是中期断裂(断穿 T_2 层附近地层);三是晚期断裂(断穿 T_2 及以上地层)。

长期继承性断裂是多期构造活动的结果,多呈北北东或近南北走向,该类断裂或为基底断裂,如敖古拉-哈拉海断裂,为早期在区域性近东西向拉张应力场的作用下基底断裂倾滑活动控制形成的盆地裂陷期的同生张性正断层。断层形成时间早、延伸长、断距大、断穿层位多,具多期活动的特点,这类断层不仅早期控制了古河道摆动范围,而且在明水组沉积末期,受近东西向挤压应力场的作用,一部分断层复活,发生逆冲反转,成为反转断层,尽管数量有限,但与构造的形成分布密切相关,主要控制正反转构造的形成,如喇嘛甸、萨尔图和杏西地区发育的3条反转逆断层,对大庆长垣上的喇嘛甸、萨尔图、杏树岗构造的形成起到重要的控制作用。因此长期继承性断层主要在多次构造活动中控制相关构造的形成,同时,对中浅层断裂带的形成、分布也起到重要的控制作用。

中期断裂主要形成于青一段沉积末期的构造运动,在区域性伸展应力场的作用下,为调节基底断裂伸展作用而产生大量的 T_2 断层,断层走向主要为近南北向,平面上断裂分布不均,呈密集状展布,并使扶杨油层顶面构造复杂化,呈现地垒、地堑或抬斜断块相间的构造格局。青一段沉积末期断裂活动时,油气尚未成熟,油气主要运移期发生在明水组沉积末期及以后。在区域应力场的作用下,大量 T_2 断层在油气运移期复活、开启,成为青一段石油向下运移的有利通道,对扶杨油层油气的运聚起到了重要的作用。

晚期断裂形成于嫩江组沉积末期至古近纪沉积末期的压扭性应力场中。嫩江组沉积末期,在近南北向左行压扭应力场的作用下,形成了部分张性断层。古近纪末期,北北东向断裂左行压扭活动又派生出大量北西向张性断层,这些断层在空间上沟通了青山口组生油岩与下伏扶杨油层、上覆萨尔图、黑帝庙油层。

第二节 断层特征与演化

三肇凹陷断裂系统按发育时期主要有4种类型:断陷期(T_5-T_4)、拗陷期(T_3-T_{06})、反转期(T_{03} 以上)和长期发育的断裂。断层性质主要为正断层,反转构造上发育下正上逆的正反转断层,同时也发育变换断层。 T_2 反射层为扶杨油层与青山口组分界面,发育高密度断层,断裂面密度高达5条/ km^2 ,扶杨油层断裂具有密集成带的特征,过去普遍认为断裂密集带控制油气的富集,但断裂密集带的成因是什么?不同成因密集带的分布有哪些规律?油气成藏关键时刻为构造反转期,反转期断层选择性活动,究竟是哪些断层活动?通道断层有多少?分布规律如何?只有正确回答这些问题,才能搞清扶杨油层油的富集规律。

一、断层几何特征

扶杨油层断层走向主要为南北向,在肇州北部和徐家围子北部地区发育近东西向的断层。剖面上表现为平直断层,断层倾角为 $35^\circ\sim 70^\circ$,平均为 50° (图2-2)。