

中国  
油藏  
开发  
模式  
丛书

低渗透砂岩油藏

# 扶余裂缝型低渗透 砂岩油藏

THE FRACTURED LOW  
PERMEABILITY  
SANDSTONE RESERVOIRS  
IN FUYU OILFIELD

刘漪厚 等编著

石油工业出版社



|     |        |
|-----|--------|
| 登录号 | 127551 |
| 分类号 | TE344  |
| 种次号 | 010    |

中国油藏开发模式丛书

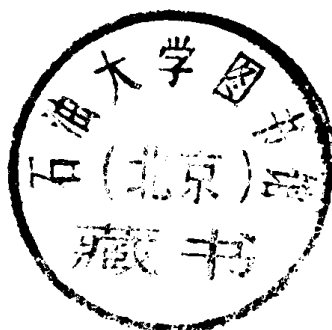
Series on Reservoir Development Models in China

· 低 渗 透 砂 岩 油 藏 ·

# 扶余裂缝型低渗透砂岩油藏

The Fractured Low Permeability Sandstone Reservoirs in Fuyu Oilfield

刘漪厚 等编著



石油0121620

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“低渗透砂岩油藏”的典型实例之一。是关于裂缝型低渗透砂岩油藏开发模式方面的专著。

作者以扶余裂缝型低渗透砂岩油藏为实例,运用20多年油田开发所积累的丰富资料,采用油藏地质描述技术、室内物理实验、现场试验及数值模拟等多种手段,从裂缝型低渗透砂岩油藏的早期识别、储层主要地质特征、开发过程中有关渗流特征和驱油机理、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,较全面地论述了裂缝型低渗透砂岩油藏开发全过程的基本特点和规律,优化建立了裂缝型低渗透砂岩油藏开发模式和归纳出了适合裂缝型低渗透砂岩油藏各开发阶段配套的工艺技术,为低渗透油田的开发建立了科学模式。

本书可供从事石油地质、油田开发、数值模拟及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

扶余裂缝型低渗透砂岩油藏/刘漪厚等编著.

北京:石油工业出版社,1997.1

(中国油藏开发模式丛书·低渗透砂岩油藏)

ISBN 7-5021-1950-7

I. 扶...

II. 刘...

III. 裂隙储集层:低渗透油层-砂岩油气田-油田开发-模式-中国

IV. TE348

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 01115 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 10  $\frac{3}{4}$  印张 8 插页 270 千字 印 1-3000

1997 年 1 月北京第 1 版 1997 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1950-7/TE·1640

精装定价:45.00 元 平装定价:33.00 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

# 《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！

中国石油天然气总公司  
常务副总经理

周永康  
一九八八年八月

# 前 言

我国不少裂缝型低渗透砂岩油藏在开发部署和工艺技术对策方面已积累了许多经验。但是，还没有摆脱具体的油藏和开发阶段的局限性，还没有建立起模式化的科学指导，因而在考虑、处理问题时，对开发全过程中可能出现的问题缺乏预见性，采用的某些工艺技术缺乏有效性。因此，为了增强裂缝型低渗透砂岩油藏开发决策工作的科学性和预见性，改善开发效果，提高开发经济效益，形成有针对性的开发程序和工艺技术，研究建立裂缝型低渗透砂岩油藏开发模式，具有十分重要的意义。

《中国油藏开发模式丛书》是从合理开发油田的角度，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基本特点和规律，以期能理论化、系统化地形成一套因地制宜、最佳效益的开发方式，为我国同类型油藏的开发起到指导作用。

对于裂缝型低渗透砂岩油藏，我们选取扶余油田为主要研究对象。扶余油田为渗透率较低的砂岩储层，储层中发育着具有明显方向性的裂缝。由低渗透砂岩油藏的特点所决定，在油田开发中往往需要采用压裂工艺来提高油井产量，又需采用注水工艺来补充地层能量，而这些工艺措施同时又会加剧方向性裂缝，产生水窜、水淹、套变等不同于其它类型油藏的特殊现象。如何针对本类型油藏特点，经济、合理、高效地开发油田，是本书论述的主要内容。

书中介绍了扶余裂缝型低渗透砂岩油藏的主要地质特征，并建立了相应的地质模型。重点解剖裂缝在油田开发中起的作用，并在总结油田开发经验教训的同时，进行微观水驱油机理和数值模拟研究，这是裂缝砂岩油藏研究的两个技术难点，为裂缝型砂岩油藏开发模式的建立及井网优化提供了可靠的理论依据。针对本类油藏的地质和开发特点，总结并提出适合不同开采阶段优化的、科学的、配套的七项工艺技术。

本书是在陈炎珍和刘漪厚组织、指导下编写的，全书共分四章。参加编写的人员有：第一章刘漪厚；第二、三章陈炎珍、刘漪厚、徐文娟、刘丽霞、胡雅祁；第四章于国栋、常连吉、高中林、彭子娟、赵迎静。参加此项工作的还有梁春秀、张军叁、周兆华、石磊、高海龙。全书的最后修改、定稿由刘漪厚完成。

在本书的资料收集、编写过程中，得到了谢荣、王仲茂、周受超、季华生等的指正和支持，杨贤梅老师给予了仔细的修改和校正。在此谨向所有关心、支持过本书的领导、专家、同志表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中有些论点和认识难免有错误和不当之处，恳切地希望读者给予批评指正。

# 目 录

## 前言

|                            |      |
|----------------------------|------|
| <b>第一章 油藏地质模型</b> .....    | (1)  |
| 第一节 地质特征.....              | (1)  |
| 一、油藏沉积特征.....              | (1)  |
| 二、油藏构造及流体分布.....           | (3)  |
| 三、储层物性.....                | (6)  |
| 四、储层裂缝.....                | (6)  |
| 五、流体性质 .....               | (13) |
| 六、油层压力及温度 .....            | (14) |
| 七、储量 .....                 | (14) |
| 第二节 地质模型 .....             | (15) |
| 一、地质模型的参数 .....            | (15) |
| 二、概念模型的建立 .....            | (15) |
| 三、数值模拟模型的建立 .....          | (21) |
| <b>第二章 油藏开发模式</b> .....    | (26) |
| 第一节 水驱油和聚合物驱油微观机理研究 .....  | (26) |
| 一、引言 .....                 | (26) |
| 二、实验技术和方法 .....            | (26) |
| 三、实验结果和分析讨论 .....          | (29) |
| 四、结论 .....                 | (38) |
| 第二节 密闭取心检查井资料综合研究 .....    | (39) |
| 一、检查井的目的及井位选择 .....        | (39) |
| 二、检查井区注水开发阶段的油水分布规律 .....  | (40) |
| 三、油层孔隙结构对扶余油田水驱效果的影响 ..... | (44) |
| 四、油层中的粘土矿物对水驱效率的影响 .....   | (47) |
| 五、对水驱后剩余油饱和度分布的认识 .....    | (48) |
| 第三节 开发指标随时间的变化规律 .....     | (50) |
| 一、综合含水、产油量随时间的变化规律 .....   | (50) |
| 二、采油指数、采液指数随时间的变化规律 .....  | (54) |
| 第四节 驱动能量及采收率测算 .....       | (55) |
| 一、扶余油田驱动能量 .....           | (55) |
| 二、采收率的计算方法和结果 .....        | (55) |
| 三、对采收率的评价及认识 .....         | (67) |
| <b>第三章 开发部署对策研究</b> .....  | (72) |
| 第一节 不同开发阶段的部署对策研究 .....    | (72) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 一、划分油田开发阶段 .....             | (72)  |
| 二、各开发阶段出现的问题和所采取的措施 .....    | (72)  |
| 三、油藏评价和开发方案的制定 .....         | (87)  |
| 四、开发过程的监控和调整 .....           | (105) |
| 五、提高油田采收率 .....              | (112) |
| 第二节 建立合理的开发程序 .....          | (122) |
| 一、早期油藏评价 .....               | (122) |
| 二、编制油田开发方案 .....             | (123) |
| 三、低含水期开采 .....               | (124) |
| 四、中高含水期开采 .....              | (124) |
| 五、高含水期开采 .....               | (124) |
| 六、提高油田采收率 .....              | (126) |
| <b>第四章 油藏开发工艺技术</b> .....    | (127) |
| 第一节 井下地应力分布及裂缝方位研究工艺技术 ..... | (127) |
| 一、井下地应力分布及岩石力学参数的测定 .....    | (127) |
| 二、裂缝方位研究的工艺技术 .....          | (129) |
| 第二节 钻井及防止油层污染的工艺技术 .....     | (134) |
| 一、钻井工艺技术 .....               | (134) |
| 二、防止油层污染的工艺技术 .....          | (136) |
| 第三节 压裂工艺及其优化设计技术 .....       | (138) |
| 一、压裂工艺 .....                 | (138) |
| 二、压裂液 .....                  | (140) |
| 三、支撑剂 .....                  | (142) |
| 四、压裂优化设计 .....               | (142) |
| 五、水力压裂裂缝测试与分析技术 .....        | (143) |
| 六、不同开发时期油井压裂的选井选层 .....      | (144) |
| 第四节 注水工艺技术 .....             | (146) |
| 一、油田注水开发简况 .....             | (146) |
| 二、注水工艺 .....                 | (146) |
| 三、扶余油田注采压力系统分析 .....         | (148) |
| 四、吸水剖面的调整 .....              | (149) |
| 五、吸水剖面测试技术 .....             | (150) |
| 六、降压增注 .....                 | (150) |
| 第五节 套管损坏的防止及其治理的工艺技术 .....   | (151) |
| 一、套管变形的趋势 .....              | (151) |
| 二、套管变形井发生的原因 .....           | (151) |
| 三、套管变形的分布规律 .....            | (152) |
| 四、套管变形井段的形态 .....            | (152) |
| 五、套管变形的预防 .....              | (152) |
| 六、套管变形的检测技术 .....            | (153) |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 七、套管变形井的修复技术·····             | (153) |
| 第六节 高含水期开采工艺技术·····           | (154) |
| 一、推广应用油藏监测技术·····             | (154) |
| 二、应用有效合理的工艺技术确保高含水期注够水·····   | (154) |
| 三、适应高含水期间提液能力要求的机械采油工艺技术····· | (155) |
| 四、挖掘停产井和套管变形油水井的潜力·····       | (156) |
| 五、提高油井压裂的增产效果和水平·····         | (156) |
| 六、提高增产措施成功率和增产效果·····         | (157) |
| 第七节 提高油田采收率的工艺试验研究·····       | (157) |
| 一、应用新工艺、新技术提高采收率·····         | (157) |
| 二、三次采油工艺试验研究·····             | (158) |
| 参考文献·····                     | (159) |

# 第一章 油藏地质模型

## 第一节 地质特征

### 一、油藏沉积特征

#### 1. 区域沉积背景

扶余油田主要储油目的层——扶余油层，属于泉头组第四段地层。当时松辽盆地处于下白垩统旋回水退末期和湖盆大规模扩张前夕。松辽盆地扶余油层的沉积特征有以下几个特点：

##### (1) 古地型平坦

泉四段沉积时期，处于湖盆演化早期，整个盆地出现准平原化的古地形。泉四段地层沉积厚度在盆地内分布相当稳定，为 80~100m，最厚可达 130m 左右。

##### (2) 古气候干热

从孢粉化石的种类来看，泉头组时期属干热气候，降雨量小，河流具间歇性，致使大量粗碎屑物沉积在盆地边缘，盆地中心砂岩厚度与地层厚度百分比（砂地比）一般小于 20%。

##### (3) 湖区范围较小

由于盆地内地势平坦，没有大的汇水区，再加上气候干热，雨量少，造成泉四段时期湖区范围小的状况。仅在泉四段晚期，湖区开始扩大，沉积了一段滨浅湖相的灰绿色泥岩，一段称“绿帽子”，随后就是青山口组大规模湖进，沉积了深湖—半深湖相的灰黑色泥、页岩。

##### (4) 多物源，多沉积体系

扶余油层沉积时期有六个物源方向，可划分出南部（保康、怀德）、英台、北部、齐齐哈尔、望奎—青冈和九台沉积体系。

扶余地区的物源主要来源于东南部的九台物源区，沉积物由东南往西北方向搬运，扶余地区处于三角洲分流平原相区，湖区在其西北部。

#### 2. 扶余油田储层沉积特征

扶余油田主要含油层系为白垩系泉头组第四段地层，埋藏深度 280~500m。

##### (1) 储层沉积相

前已述及，泉四段沉积时期，盆地内地势平坦，气候干热，湖区面积小，具有多物源的特点。盆地东南部九台和怀德物源区的碎屑物，由河流携带搬运向西北方向。当时湖区在大安北部、扶余地区处于三角洲分流平原相带。

1) 岩性：棕红色、灰绿色泥岩，粉砂岩、细砂岩及它们之间的过渡岩性，另外还有灰质砂岩，泥砾钙砾岩等。棕红色泥岩一般呈块状，常具收缩擦痕，泥质较纯。灰绿色泥岩常含粉砂，常具有次生的黄铁矿晶体。泥岩中钙质结核比较发育。砂粒呈次棱角状，含泥质较多，生物化石不发育，含有植物碳屑。

2) 沉积层序：岩性组合具明显的完整的粒度向上变细层序。整个泉四段在大部分地区可以分为四个正旋回层。每个旋回的底部以冲刷面开始，与下伏泥岩呈冲刷接触，上复灰质细

砂岩或含泥砾灰质细砂岩，有时为泥砾钙砾岩。往上依次为细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩，最后以灰绿色泥岩和紫红色泥岩结束。

3) 砂体类型：分流河道砂体：一般为长石岩屑细砂岩、粉砂岩组成正韵律层，底部常有冲刷面和泥砾，一般砾径小，磨圆好。砂岩具斜层理，波状交错层理，粉砂岩和过渡岩类中常见缓斜层理和变形层理。由于古地形平坦，分流河道经常发生侧移，分流河道砂体侧向连续性较好。

天然堤、决口扇砂体：为一套细砂岩、粉砂岩和砂质泥岩，泥质粉砂岩的频繁互层，砂岩中常分散有大小不一的泥砾，但不成层。泥岩呈棕红色或灰绿色，偶见干裂。泥岩中普遍含钙质结核，砂岩中的层理不发育，而泥质岩和过渡岩类中常见波状层理，断续波状层理和水平层理等。

分支间湾沉积：以泥岩为主，呈棕红或灰绿色，具有块状层理、水平层理或断续波状层理，夹有少量的薄层泥质粉砂岩。

## (2) 储层特征

1) 扶余油层基本岩石类型是细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩和灰质砂岩。纵向表现为明显的正旋回性。

砂岩碎屑矿物成分包括岩块、石英、长石。其中：

岩块占 35% 左右；

石英占 30% 左右；

长石占 30% 左右。

胶结物以泥质为主，灰质次之。泥质含量为 5%~30%，平均为 17% 左右。碳酸盐含量一般在 1%~5%，灰质砂岩可高达 20% 以上。胶结类型以孔隙式为主，接触式次之。岩石固结程度好。

泥质胶结物的主要矿物成分是高岭石和水云母。高岭石大部分充填在粒间孔隙内，有的在碎屑颗粒的表面。另外还有片状水云母，大部分包裹在碎屑颗粒表面，也有与高岭石一起充填在粒间孔隙内的。由于泥质胶结物充填或包裹的结果，导致一部分孔隙变小，甚至堵死。

储油砂岩的粒度中值一般在 0.05~0.25mm 之间，平均 0.13mm 左右，油田东南部稍粗，向西北方向有变细趋势。砂岩分选系数在 4 左右。

2) 扶余油田泉四段地层厚度为 60~100m，多数井在 70~90m 之间。厚度变化总的趋势是东南厚，向西北减薄；从局部来看，高点薄，高点间的鞍部加厚；断层上升盘薄，下降盘略有加厚。

泉四段砂岩厚度一般为 30~50m，平均 38m 左右。砂地比一般为 45%~70%，平均 50% 左右。单井钻遇砂岩层数一般为 10~24 层，平均 16 层。单层砂岩厚度一般在 1.5~6m，平均 2.6m 左右。

3) 扶余油田储油层砂体分布状况：对于主力油层来说，砂体分布面积广，连续性好；差油层分布面积小，砂体连续性差，呈透镜状分布。各小层参数见表 1.1。从表中可知，各小层的油砂体分布面积，除 2、5、8、13 号层外，都在 50% 以上或接近于 50%，说明大部分油层分布比较稳定。

各小层的碾平有效厚度，一般在 0.5~1.5m。

表 1.1 扶余油田小层评价分类综合数据表

| 小层号 | 油砂体分布面积<br>% | 碾平有效厚度<br>m | 占总储量百分数<br>% | 平均空气渗透率<br>$\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ | 排队顺序 |
|-----|--------------|-------------|--------------|-------------------------------------------|------|
| 2   | 28           | 0.65        | 5.5          | 176                                       | 10   |
| 3   | 47           | 0.91        | 7.7          | 191                                       | 7    |
| 4   | 55           | 1.21        | 10.2         | 176                                       | 5    |
| 5   | 23           | 0.43        | 3.6          | 153                                       | 11   |
| 6   | 52           | 1.04        | 8.8          | 163                                       | 8    |
| 7   | 61           | 1.50        | 12.7         | 185                                       | 1    |
| 8   | 38           | 0.76        | 6.4          | 179                                       | 9    |
| 9   | 56           | 1.56        | 13.2         | 170                                       | 2    |
| 10  | 50           | 1.01        | 8.5          | 176                                       | 6    |
| 11  | 51           | 1.31        | 11.1         | 186                                       | 3    |
| 12  | 45           | 1.11        | 9.4          | 209                                       | 4    |
| 13  | 18           | 0.38        | 2.9          | 173                                       | 12   |

## 二、油藏构造及流体分布

### 1. 盆地的构造特征

盆地的发育具有裂谷的基本特征，盆地处于上地幔隆起上，中新生代沉积最厚的地带，恰是莫霍面上拱最高，地壳最薄的地带，呈明显的镜象对称关系。莫霍面拱起的走向为北北东向，与松辽盆地走向一致。盆地发育受三条北北东方向的深大断裂控制，它们是：嫩江—白城壳断裂，孙吴—双辽壳断裂（松辽壳断裂），依兰—依通超壳断裂。此外盆地内还发育有许多基底断裂。这些断裂由张性及张扭性正断裂组成，自中生代以来有长期活动的历史，影响着盆地的形成和发育。盆地发育经历了四个阶段。

#### （1）隆起阶段（三叠纪至早、中侏罗纪）

盆地基底是古生代华力西褶皱带，主要为石炭二叠系地层，并伴随有大规模的花岗岩侵入。三叠纪至早、中侏罗纪盆地处于隆起剥蚀阶段。

#### （2）裂谷阶段（晚侏罗纪至泉二段）

晚侏罗纪开始，由于太平洋板块向欧亚板块俯冲，印度板块向欧亚板块碰撞，在这两种力的作用下，大陆地壳拱起，地幔物质上涌，产生张性断裂带。产生许多分散的地堑，形成断堑式沉积并有火山岩。早白垩世早期登娄库组时，由于孙吴—双辽壳断裂的活动，形成一长 350km、宽 30~70km 的裂谷断陷。登三、四段沉积范围又稍扩大。裂谷阶段区域构造格局是：由侏罗纪晚期的分散地堑，发展到早白垩世早期的形似三分枝状的裂谷。以大安为顶点，形成齐家—古龙、长岭、三召三个断陷区。

#### （3）拗陷阶段（泉三段至嫩江组）

早白垩世中期，盆地由裂陷向拗陷转化，开始整体下沉，以快速稳定沉降为主。部分时间有上升。沉降速度较长时间大于沉积速度，形成非补偿性沉积，有利于油气生成。

由断陷向拗陷转化的机制是：地幔上拱停止，逐渐冷却收缩，相应的盆地发生大面积整体沉降。

泉三段开始,形成了统一的松辽古湖盆,特别是青山口组,嫩江组是湖盆发育的极盛期。由于受三分枝结构的影响,在中央拗陷区内形成了古龙、三召、长岭等次级凹陷。

#### (4) 萎缩阶段(晚白垩纪至第三纪)

晚白垩世盆地开始上升,早第三纪盆地全面上升,上白垩统上部沉积中心明显西移约 20~30km。盆地的区域构造格局是:盆地东北及东南部隆皱抬起,仅在西部有上白垩统及第三系粗屑沉积。盆地收缩期也是盆地发育的重要时期,晚白垩世前后的两次构造运动,燕山运动Ⅳ、Ⅴ幕,形成了大批构造,对油气藏的形成起了很大的作用。

松辽盆地的发育演变特点是:裂谷阶段不很发育,没有形成较厚的非补偿沉积,但转化为拗陷后,盆地发展进入了全盛期,生储油岩发育良好,形成了特大油田。

#### 2. 扶余油田构造特征

##### (1) 区域构造位置

在松辽盆地中央拗陷带的中部,发育着扶余—新立凸起构造带,扶余油田所处的扶余Ⅲ号构造就在扶余—新立凸起构造带的东部,它西邻新木断鼻构造带,东邻东南隆起区的长春岭背斜带和登娄库背斜带(图 1.1)。

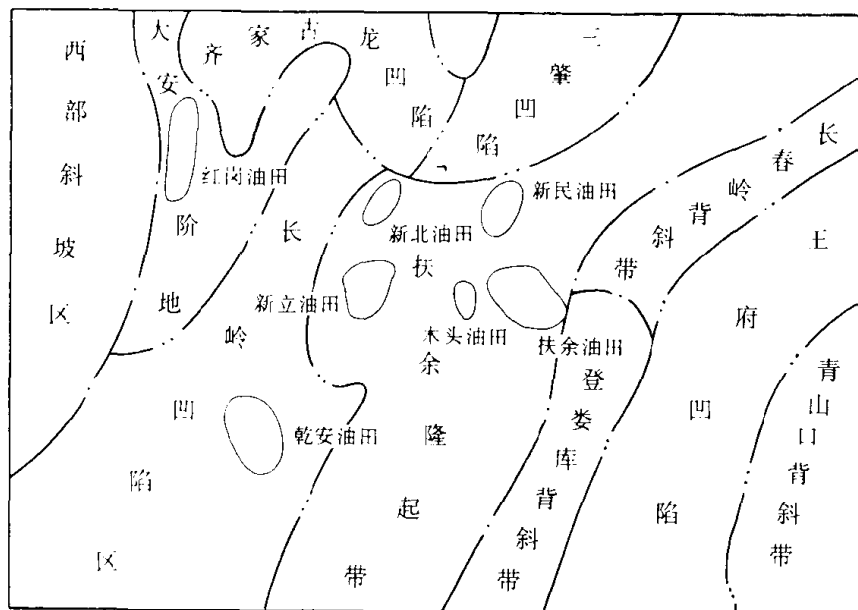


图 1.1 区域构造平面示意图

##### (2) 地层

扶余油田地区基底埋藏深度 1600~2000m,岩性为海西期花岗岩,其上覆地层为中生界白垩系和新生界第三系、第四系地层,其中泉头组第四段为主要储油目的层,因而油田上绝大多数井都是钻穿泉四段而后完钻的,泉三段以下地层钻遇井较少。

##### (3) 扶余油田构造特征

扶余油田处于扶余Ⅲ号构造上,从泉头组顶面(即扶余油层顶面)构造形态看,是一个被断层复杂化了的点多穹隆背斜。构造内地层倾角平缓,一般为 $1^{\circ}\sim 4^{\circ}$ ,断层附近最大可达 $7^{\circ}$ 。—280m 构造等高线圈闭,闭合面积 $120\text{km}^2$ ,闭合差 150m。构造范围内发育有土城子北、土城子、八家子北、八家子、扶余镇、罗斯屯、四家子、雅达红、后达屯、夜来陶树和代家

洼子等 11 个圈闭的局部高点 (图 1.2)。闭合面积最大的是八家子高点 ( $5.8\text{km}^2$ )，最小的是夜来陶树高点 ( $2\text{km}^2$ )。高点形状呈半圆、半椭圆、椭圆形等，轴向以南北向和北北西向为主。高点多数被断层切割，完整性差。11 个高点按北北西方向组成四个排，排间被地堑式向斜所分隔。四家子高点是油田隆起最高部位，顶部海拔  $-130\text{m}$ 。

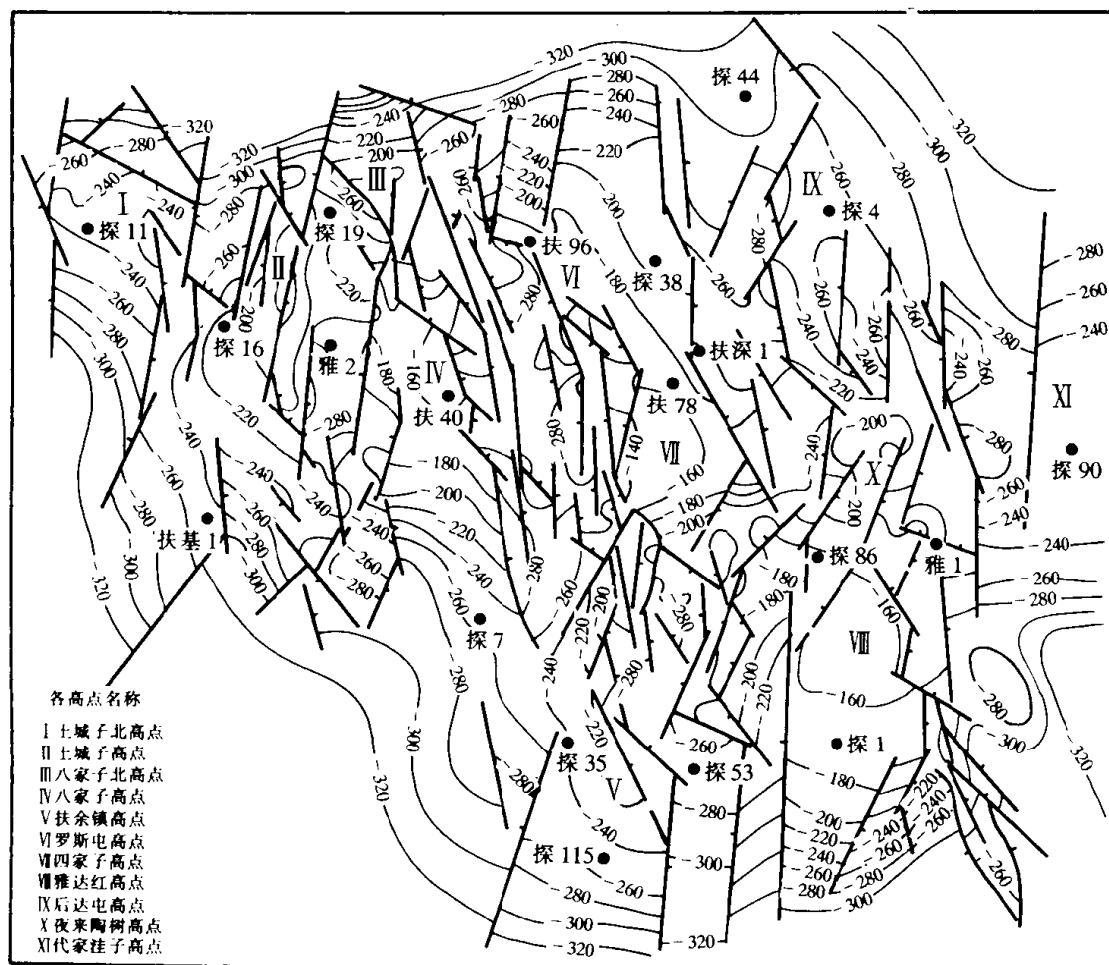


图 1.2 扶余油田泉头组四段顶面构造图

构造上断层很发育，为北北西和北北东向两组正断层，目前发现的断层在 140 条以上。一般断距  $20\sim 70\text{m}$ ，最大  $121\text{m}$ 。断层在构造中部最发育，形成一个断层带，把油田分成东区和中、西区。由于断层的切割，构造被分割成若干个形状不规则的断块，形成地垒式小高点和地堑式小向斜。

扶新鼻状构造带为同一基底古隆起上发育起来的，古隆起高点在扶余 II 号构造西部，向西逐渐倾没。整个二级构造带具有相同的构造发育史，属于同生—后生构造。构造发育有两个阶段。第一阶段，从泉头组到姚家组沉积时期，在基底古隆起的控制下，形成边隆起、边沉积、边断裂的同生构造；第二阶段，嫩江组沉积时期，本区进入了稳定的湖盆沉积，沉积厚度及岩性、岩相特征在横向上变化不大，对构造发育无明显影响。嫩江组沉积末期，发生了大规模的构造运动，即燕山运动第 IV 幕。这次运动使构造幅度进一步加大，原有断层的断距加大，并产生新的后生断层。它对扶余油田古构造面貌进行了一次强烈的改造活动，使长期处于构造低部位的东区抬起，形成了扶余油田今构造东高西低的构造格局。

### 3. 流体分布

扶余油田油层砂岩发育，无气顶，油、水分布受构造和岩性控制。由于储油砂体大面积连片，油层也是大面积连片分布，具有以下几个特点。

1) 扶余油层在构造范围内广泛含油，含油面积大，约  $84\text{km}^2$ 。其中第 I 砂岩组含油面积最大，II ~ IV 组含油边界逐渐向内缩小。油田西部纯含油区面积大，过渡带面积小；而东部则相反，纯油区面积较小，分布在几个局部高点上，而油水过渡带面积较大。

2) 油水分布明显受构造控制，含油边界与构造线吻合。在构造高点部位整个储油目的层含油，油层厚度大，如土城子高点、八家子高点、四家子高点，其泉四段和泉三段顶部的储油层都含油；而处在小向斜部位或地堑部位的储油层则只有部分含油，向下过渡为油水同层和水层。

3) 重力分异作用显著，整个储油层段垂向上油水分布受重力分异作用的控制，由上而下依次为纯含油段、油水同层段、纯水段。油田中、西区纯油底界均在海拔  $-320\text{m}$ 。油田的东区变化较大，一般在  $-245\sim-310\text{m}$ ，油气水在纵向上的分布也有反常现象。从构造发育历史分析，嫩江组沉积后的燕山运动使得扶余构造发生倾侧变位，由原来的西高东低变为东高西低，东区由于断层而抬起，使得油气重新平衡，含油底界抬高，边水内侵，造成各砂岩组的油水界线交叉，互切构造线，纵向上出现“顶水”或“夹层水”的假象。

4) 油水过渡段在纵向上延续较长，据大量岩心的含油产状和试油资料验证，过渡段一般延续  $60\sim80\text{m}$ ，而过渡段的中、下部尽管岩心的含油产状较好，但试油多产水，仅出少量油或油花。

## 三、储层物性

扶余油田为砂岩孔隙储油，孔隙类型主要是粒间孔隙，次要的有长石的溶蚀孔隙。在油田开发中，连通孔隙与油层裂缝均为油水运动的通道。

### 1. 孔隙结构

扶余油田储油层的孔隙结构特征是由孔隙大小及其分选程度决定的，最根本的还是孔隙大小，它决定了岩石渗透性。通过 4 口检查井压汞样品资料得知，孔隙半径中值变化范围为  $0.26\sim8.1\mu\text{m}$ ，最大孔喉半径的变化范围为  $2.8\sim23.5\mu\text{m}$ 。

影响孔喉大小的因素有 4 个：岩石粒度、胶结物含量、石英次生加大、胶结类型。其中前 2 项是主要的，后 2 项因本身变化不大，对各类结构岩石的影响是一致的。

### 2. 储油岩石物理性质

有效孔隙度一般为  $22\%\sim26\%$ ，油田东区略高，西区较低。

空气渗透率一般在  $100\times10^{-3}\sim500\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ ，平均  $180\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。由于东区离物源区近，砂岩粒度粗，储油物性比中西区略好一些。

油层的原始含油饱和度一般在  $70\%\sim75\%$ ，平均  $73\%$ 。

润湿性对采收率有较大影响，亲水油层比亲油油层的采收率要高，开发效果好。扶余油田油层属于亲水型，对开发是有利的。

## 四、储层裂缝

低渗透砂岩油藏一般都存在着不同程度的裂缝，它的发育情况及其在油田开发中的作用是一个非常重要的问题，在很大程度上决定着这类油田的开发效果，因此，对裂缝问题，必

须加强研究，深化认识，才能找出正确的开发对策。

1. 裂缝分布的普遍性

(1) 低渗透砂岩油藏均发育天然裂缝

吉林油区以中、低渗透砂岩油藏为主，其中多数油藏储层中都发育着天然裂缝。扶余油田是最早投入开发的油田，也是裂缝的矛盾暴露最早的油田。其它如新立、新木、乾安油田储层裂缝都比较发育。

1) 扶余油田：根据 24 口取心井 1948m 岩心的观察，共发现裂缝 948 条，平均每米岩心发育裂缝（简称线密度）0.487 条。其中，储油层泉头组地层中线密度为 0.28 条/m；储层之上的青山口组底部地层岩性为灰黑色泥页岩，其中的裂缝线密度为 2.2 条/m。

2) 乾安油田：根据 6 口井 337.7m 岩心裂缝情况的观察，共发现裂缝 237 条，裂缝总长为 154.98m，平均每米岩心中发育裂缝 0.7 条，裂缝长度 0.46m。

3) 新立油田：根据 9 口井的岩心观察，裂缝也比较发育，平均裂缝线密度为：青山口组底部 0.48 条/m，泉头组第四段 0.27 条/m，泉头组第三段 0.15 条/m。

上述岩心观察数据表明，吉林油区多数低渗透砂岩油藏裂缝是比较发育的，具有一定的普遍性。

(2) 裂缝分布于油藏中每个部位

1) 凡是取心井都可见到裂缝。上述几个油田油层中广泛发育着裂缝。从岩心观察资料来看，每口取心井都可见到裂缝，说明裂缝在平面上分布是很普遍的。下面列出新立油田和乾安油田不同岩性裂缝密度统计表（表 1.2，表 1.3），从中可以看出每口取心井均不同程度地见到了裂缝。

表 1.2 新立油田泉四段不同岩性裂缝密度统计表

| 裂缝线密度，<br>条/m<br>井 号 | 岩 性  |      |      |
|----------------------|------|------|------|
|                      | 泥 岩  | 砂 岩  | 钙砂岩  |
| 新 143                | 0    | 0    | 3.1  |
| 新 145                | 0.04 | 0.07 | 0.2  |
| 新 147                | 0    | 1.1  | 4.4  |
| 新 193                | 0    | 0.25 | 0.78 |
| 新 207                | 0    | 2.4  | 0.77 |
| 新 211                | 0.04 | 0.15 | 0.66 |
| 吉 1—12               | 0.09 | 0.26 | 0.24 |
| 吉 6—4                | 0.08 | 0.6  | 6.3  |
| 吉 6—16               | 0.23 | 0.36 | 0.24 |

表 1.3 乾安油田不同岩性裂缝密度统计表

| 裂缝线密度，<br>条/m<br>井 号 | 岩 性  |      |
|----------------------|------|------|
|                      | 泥 岩  | 砂 岩  |
| 5—11                 | 0    | 0.6  |
| 13—3                 | 0.53 | 0.77 |
| 125                  | 0.45 | 0.44 |
| 126                  | 1.6  | 1.04 |
| 131                  | 1.1  | 0.66 |