

马岭层状低渗透砂岩油藏

石油工业出版社

中国油藏开发模式丛书

低渗透砂岩油藏

# 马岭层状低渗透 砂岩油藏

T H E      S T R A T I F I E D  
L O W      P E R M E A B I L I T Y  
S A N D S T O N E      R E S E R -  
V O I R S      I N      M A L I N G

朱义吾 等编著

ISBN 7-134-0348-1

348

11

石油工业出版社

|     |        |
|-----|--------|
| 登录号 | 138761 |
| 分类号 | TE348  |
| 种次号 | 011    |

中国油藏开发模式丛书

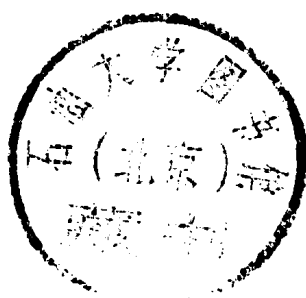
Series on Reservoir Development Models in China

• 低渗透砂岩油藏 •

# 马岭层状低渗透砂岩油藏

The Stratified Low Permeability Sandstone Reservoirs in Maling

朱义吾 等编著



石油大学0142130

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。

本书以长庆油田马岭层状低渗透砂岩油藏开发的实践为例,运用二十多年开发所累积的丰富资料,采用现代先进的油藏地质描述技术、室内物理实验、现场开发试验、油藏工程分析以及数值模拟等手段,早期识别层状低渗透砂岩油藏河流相沉积地层的主要地质特征,开发过程中有关驱油机理和渗流特征,以及层状低渗透砂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,较全面地论述了层状低渗透油藏开发全过程的主要特点和基本规律,建立了具有最佳开发效益的层状低渗透砂岩油藏开发模式和各开发阶段配套的工艺技术系列,反映了我国低渗透油藏开发的一个方面,为此类低渗透油藏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

马岭层状低渗透砂岩油藏/朱义吾等编著.

北京:石油工业出版社,1997. 5

(中国油藏开发模式丛书·低渗透砂岩油藏)

ISBN 7-5021-1979-5

I. 马...

II. 朱...

III. 低渗透油层-砂岩油气田-油田开发-模式-中国-长庆油田

IV. TE348

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 06452 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 15.25 印张 1 插页 380 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 7-5021-1979-5/TE·1665

精装定价: 53.00 元 平装定价: 35.00 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！

周永康  
一九九一年八月

# 前 言

目前,我国投入开发的低渗透砂岩油藏很多,从油藏研究、开发部署到工艺技术对策等方面,都积累了许多宝贵的实践经验。但是,现在还没有看到一个模式化的样本,作为科学指导,特别是对在开发过程中可能出现的或已经出现的一些突出问题,既缺乏预见性,又缺乏有效的技术对策。为了增强低渗透油藏开发工作决策的科学性和预见性,形成一个模式,以改善开发效果,具有十分重要的现实意义。

研究建立低渗透砂岩油藏的开发模式,是从经济有效的低渗透油田出发,从生产到科研,从宏观到微观,重点研究描述低渗油藏的开发历程和开发全过程的基本特点和规律,形成一套具有低渗透油田特点的开发方式,为我国同类型油藏开发起到指导作用。

本书依据长庆油田马岭层状低渗透砂岩油藏的实践,参考国外低渗透砂岩油田开发的经验和教训,以及有关低渗透油藏地质、油藏开发和渗流特征等理论为指导,全面描述了马岭等层状低渗透砂岩油藏的沉积和成岩特征,通过微观孔隙结构、粘土矿物、岩石润湿性研究,认识了油层非均质特征和水驱油变化特征。建立了三维定量地质模型。针对不同区块,运用室内微观水驱油试验条件,通过马岭天然岩心光刻模型水驱实验和室内渗流机理研究成果,论述了低渗储层水驱、化学驱油机理。总结分析了开发全过程的基本特点、部署和对策,系统介绍了运用油藏工程分析和油藏数值模拟及室内试验研究等方法,对比优化了马岭层状低渗透砂岩油藏的开发部署,包括井网、层系、开发方式、技术政策界限、三次采油等部署及技术对策。同时针对低渗透油藏地质特征和不同开发阶段的技术要求,提出了适应低渗油藏各开发阶段的八项配套工艺技术。

本书是在朱义吾组织下编写的,全书共分四章及两个附录。参加编写的人员有:第一章朱义吾;第二章朱兆信、谢志杰、朱义吾;第三章洪佳英;第四章孙应民、朱义吾;附录Ⅰ朱义吾、赵作滋、巨全义,附录Ⅱ马宁强、林永泉,全书最后修改定稿由朱义吾完成。

在本书的资料收集,编写过程中得到了赵光奎、张盛宗、闵琪、赵祥生、付国强等同志的指正和支持,杨贤梅在成书的过程中参与了审定和校正工作,在此谨向所有关心、支持过本书的专家、同志表示衷心的感谢!

本书除各位编写者外,还有李忠兴、张明录、朱长荣、李跃刚、胡建国、张宗林、郭玉峰、王存定、段伦武、王家树、张春发、王立昕、漆雕良、马效忠等参加了该项目的研究工作或部分章节内容的资料收集、整理等有关工作,值此书出版之际,特向上述同志表示诚挚的感谢。

由于我们的水平有限,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指正。

# 目 录

## 前言

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| <b>第一章 层状低渗透砂岩油藏的基本特征</b> .....  | (1)   |
| 第一节 层状低渗透砂岩油藏.....               | (4)   |
| 一、连片层状油层.....                    | (4)   |
| 二、不规则条带状油层.....                  | (4)   |
| 三、不规则透镜状零星分布的油层.....             | (4)   |
| 第二节 层状特低渗透砂岩油藏.....              | (5)   |
| <b>第二章 层状低渗透砂岩油藏地质模型研究</b> ..... | (6)   |
| 第一节 马岭油田中一区油藏地质模型研究.....         | (6)   |
| 一、油藏描述.....                      | (6)   |
| 二、地质模型 .....                     | (38)  |
| 第二节 马岭油田南一试验区油藏地质模型研究 .....      | (52)  |
| 一、油藏描述 .....                     | (52)  |
| 二、油藏概念模型 .....                   | (66)  |
| 三、油藏地质模型研究后的认识 .....             | (70)  |
| <b>第三章 层状低渗透砂岩油藏开发模式研究</b> ..... | (72)  |
| 第一节 不同开发阶段的特点及措施 .....           | (72)  |
| 一、开发阶段的划分 .....                  | (72)  |
| 二、各开发阶段的主要矛盾及采取的措施 .....         | (80)  |
| 三、收尾阶段 .....                     | (97)  |
| 第二节 油田开发全过程基本规律的描述 .....         | (98)  |
| 一、油田含水、产油量随时间的变化规律 .....         | (98)  |
| 二、含水曲线类型.....                    | (100) |
| 三、采液、采油指数随含水上升的变化规律.....         | (100) |
| 四、不同补给能量下的开采特点.....              | (101) |
| 五、注入水体积波及特点和油水运动规律.....          | (106) |
| 六、水驱油机理.....                     | (122) |
| 七、采收率特征.....                     | (127) |
| 第三节 开发过程中的技术政策.....              | (128) |
| 一、开发层系划分.....                    | (128) |
| 二、开采方式及注采井网的选择.....              | (128) |
| 三、注采压力系统.....                    | (135) |
| 四、注水水质要求.....                    | (137) |
| 五、压裂改造提高低渗透砂岩油层流渗能力.....         | (140) |
| 六、建立油藏动态监测系统.....                | (140) |



|                                         |              |
|-----------------------------------------|--------------|
| 第四节 建立合理的开发程序·····                      | (140)        |
| 一、早期油藏评价·····                           | (140)        |
| 二、编制油田开发方案·····                         | (141)        |
| 三、马岭油田开发方案的实施与开采的总结·····                | (141)        |
| <b>第四章 层状低渗透砂岩油藏工艺技术系列研究·····</b>       | <b>(143)</b> |
| 第一节 钻井、完井工艺技术·····                      | (143)        |
| 一、井身结构及完井方法·····                        | (143)        |
| 二、优选参数钻井工艺技术·····                       | (143)        |
| 三、取心工艺技术·····                           | (145)        |
| 四、固井工艺技术·····                           | (146)        |
| 五、保护油层钻井、完井工艺技术·····                    | (146)        |
| 第二节 射孔工艺技术·····                         | (147)        |
| 第三节 压裂投产和增产工艺技术·····                    | (147)        |
| 一、试油工艺技术·····                           | (147)        |
| 二、压裂工艺技术·····                           | (148)        |
| 第四节 注水工艺技术·····                         | (151)        |
| 一、注入水水质处理工艺·····                        | (151)        |
| 二、污水处理和回注工艺技术·····                      | (153)        |
| 三、增注、分注工艺·····                          | (154)        |
| 四、水井调剖及堵大孔道·····                        | (154)        |
| 第五节 机械采油工艺技术·····                       | (154)        |
| 一、采油方式及井筒管柱配套·····                      | (155)        |
| 二、井筒“四防”配套工艺技术·····                     | (155)        |
| 三、深抽强排工艺技术·····                         | (157)        |
| 四、油井堵水工艺·····                           | (157)        |
| 第六节 套损井综合治理技术·····                      | (158)        |
| 一、小套管修复工艺技术·····                        | (158)        |
| 二、隔水采油工艺技术·····                         | (158)        |
| 三、区域阴极保护技术·····                         | (159)        |
| 第七节 油田动态监测工艺技术·····                     | (159)        |
| 一、试井工艺技术·····                           | (159)        |
| 二、开发测井工艺技术·····                         | (159)        |
| 第八节 油田地面集输工艺·····                       | (161)        |
| 一、注水站及注水流程·····                         | (161)        |
| 二、油气集输及处理工艺的选择·····                     | (162)        |
| 三、集输系统的防腐防垢技术·····                      | (163)        |
| <b>参考文献·····</b>                        | <b>(164)</b> |
| <b>附录 I 低渗透砂岩油藏注水开发地层结垢机理及防治技术·····</b> | <b>(165)</b> |
| 第一节 油田结垢概况及分布规律·····                    | (165)        |
| 一、油田结垢概况·····                           | (165)        |

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| 二、注水油田结垢原因及分布规律·····              | (165) |
| 三、注水地层的结垢分布·····                  | (169) |
| 四、结垢量的化学分析·····                   | (169) |
| 第二节 注水地层结垢研究技术路线与主要成果·····        | (171) |
| 一、地层结垢取心检查井综合研究·····              | (171) |
| 二、注水地层结垢的识别方法及岩矿特征研究·····         | (188) |
| 三、注水地层结垢机理研究·····                 | (192) |
| 四、油田结垢倾向性预测技术·····                | (199) |
| 五、油田防垢体系·····                     | (206) |
| 第三节 主要结论及下步工作意见·····              | (210) |
| <b>附录Ⅱ 低渗透砂岩油藏注水水质及处理技术</b> ····· | (212) |
| 第一节 低渗透砂岩油藏注水水质标准及处理技术·····       | (212) |
| 一、概况·····                         | (212) |
| 二、低渗透砂岩油藏注水水质标准的研究·····           | (213) |
| 三、水质处理的工艺及效果·····                 | (215) |
| 四、供注水系统的防腐措施·····                 | (219) |
| 五、水质监测技术研究·····                   | (219) |
| 第二节 马岭油田污水综合治理与回注技术·····          | (221) |
| 一、马岭油田污水水质特点及配伍性试验·····           | (221) |
| 二、污水腐蚀因素的探讨·····                  | (224) |
| 三、污水处理化学剂的筛选·····                 | (225) |
| 四、处理效果及污水回注情况·····                | (227) |
| 五、经济效益分析·····                     | (231) |
| 六、结论·····                         | (231) |

# 第一章 层状低渗透砂岩油藏的基本特征

马岭层状低渗透砂岩油藏，位于陕甘宁盆地南部、天环向斜东翼斜坡中部。该盆地是在加里东、海西运动末期发展起来的一个地台型盆地，盆地内目前已开发的有两套低渗透砂岩含油层系，即三叠系延长组和侏罗系延安组油层，马岭油田目前正在开发的就是侏罗系延安组油藏。

印支运动末期盆地上升抬起，在河流切割的古地貌背景上，沉积了中下侏罗系地层。后经燕山运动、喜马拉雅运动，形成了现在的构造格局。整个盆地东高西低，坡降仅 0.87%，在这个西倾斜坡上形成了一些向西倾没的鼻状构造带，成为有利的油气聚积场所。

在侏罗系延安组地层沉积前，古地貌的谷地和古残丘一般高差约 200m 左右，延安组延 10 油层就是在古残丘限制的谷地内填平补齐式沉积的河流相碎屑物质。河谷自下而上由窄变宽变浅，颗粒由粗变细，形成了一系列不同的砂体，成为目前油田的储集层。该储层由于受甘陕古河和庆西古河不同沉积条件的影响，在马岭油田北区和中区沉积了一套石英砂岩。砂岩呈中厚层、薄层状，单层厚度一般在 4~6m，中细粒，杂基含量一般为 10%。颗粒受水流动荡的淘洗，分选较好。石英含量可占 98%，储油物性较好，平均渗透率  $(23.8 \sim 50.0) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ；南区则为长石硬砂质石英砂岩沉积，多柔性岩块。砂岩呈块状体，为多个透镜状砂叠加而成。粗中粒，成分混杂，杂基含量一般在 16%~48% 之间。砂体连续性差，分选不好。油层渗透率低，一般仅  $(1.0 \sim 22.7) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。其上延 9 油层沉积时，由于盆地逐渐发展为河流湖沼相环境，形成一套含煤系地层，沉积厚度 9.2~62.2m。油层主要是分布在分流河道中的小砂体。中—细粒长石质硬砂岩，杂基含量一般 15%。砂体一般长 2~5km，宽 200~500m；砂体单层厚度 2~5m 左右，最大叠加厚度可达 30m。呈正韵律，底部有较粗的滞留沉积物，向上变细。依次出现交错层理，斜层理，波纹交错层理等。颗粒分选好，油层平均渗透率  $3.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，孔隙度 14%~17%；继延 9 之后，延 8 以上油层的沉积环境为三角洲相、浅湖相及沼泽相。由于三角洲不断后移，形成了零星分布的凸镜状小砂体。在这些不同的砂体中，形成了许多以岩性圈闭为主的多种类型的油藏。按油藏特点和分布划分为北、中、南和上里塬四个大区，十个开发区。

油田原油属高凝固点、高含蜡、低粘度、低含硫性质。溶解气甲烷含量 60% 左右。油田水矿化度 75~107g/L，以  $\text{CaCl}_2$  型为主。油藏及流体性质见表 1.1、图 1.1、图 1.2、图 1.3。

该油田油藏地饱压差大，边水不活跃，属弹性水压驱动类型。油田在 1970 年被发现，1971 年 5 月开始试采，1973 年在中一区进行面积注水开发试验，1975 年采用 600m 井距，反九点不规则面积注水井网投入开发。1979 年为改善注水开发效果加密为 425m 井距生产，至 1981 年各开发区相继投产。1982 年油田年产量最高达  $78.2 \times 10^4 \text{t}$ 。1986~1988 年，又在上里塬区进行滚动勘探开发投入生产。以后随着油水井的套损井增加，注采井网不完善和油层伤害情况进行了综合调整。截止 1995 年底累积产油  $1120.1 \times 10^4 \text{t}$ ，目前油田开发生产稳定。

实践证明，一个油田要想取得较好的开发效果和采收率，油田开发地质工作的中心问题是要搞好油藏研究，正确认识不同类型油藏特征，制订合理的开发方案以及开采过程中的调整措施等。

表 1.1 油藏地质、流体性质表

| 项 目 \ 名 称 |                                 | 马岭油田北、中区      | 马岭油田南试区                  | 马岭油田                                                  |
|-----------|---------------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|
| 油层性质      | 厚度, m                           | 5.0~7.8       | 6.5                      | 6.5                                                   |
|           | 孔隙度, %                          | 16.9~17.8     | 14.5                     | 16.7                                                  |
|           | 渗透度, $10^{-3}\mu\text{m}^2$     | 23.8~39.0     | 3.7                      | 29.6                                                  |
|           | 原始地层压力, MPa                     | 14.34~14.90   | 14.44                    | 14.48                                                 |
|           | 原始饱和压力, MPa                     | 2.94~5.53     | 5.60                     | 4.54                                                  |
|           | 原始气油比, $\text{m}^3/\text{t}$    | 40.5~61.3     | 58.1                     | 48.50                                                 |
|           | 温度, $^{\circ}\text{C}$          | 48.1~53.4     | 48.6                     | 49.1                                                  |
| 原油性质      | 相对密度                            | 0.8389~0.8540 | 0.8500                   | 0.8462                                                |
|           | 地下粘度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$ | 2.30~3.50     | 3.2                      | 2.9                                                   |
|           | 凝固点, $^{\circ}\text{C}$         | 15.1~21.3     | 16.0~22.0                | 14.0~25.0                                             |
|           | 含蜡, %                           | 11.4~21.7     | 11.0                     | 14.5                                                  |
|           | 沥青质, %                          | 0.78~3.34     | 0.93~2.20                |                                                       |
|           | 胶质, %                           | 5.94~7.10     | 2.32~5.93                |                                                       |
|           | 含硫, %                           | 0.09~0.13     | 0.12                     | 0.11                                                  |
| 天然气性质     | 甲烷, %                           | 51.87~67.57   | 44.86~59.04              |                                                       |
|           | 重烃, %                           | 27.08~44.78   | 40.30~51.61              |                                                       |
|           | 氮气, %                           | 2.96~5.02     | 0.66~2.47                |                                                       |
|           | 二氧化碳, %                         | 微~0.39        | 微~0.48                   |                                                       |
| 油田水       | 延 8 以上                          | 总矿化度          | 36.6~74.8 g/L            | 56 g/L<br>$\text{Na}_2\text{SO}_4$<br>$\text{CaCl}_2$ |
|           |                                 | 水 型           | $\text{Na}_2\text{SO}_4$ |                                                       |
|           | 延 8 以下                          | 总矿化度          | 75.0~107.5 g/L           |                                                       |
|           |                                 | 水 型           | $\text{CaCl}_2$          |                                                       |

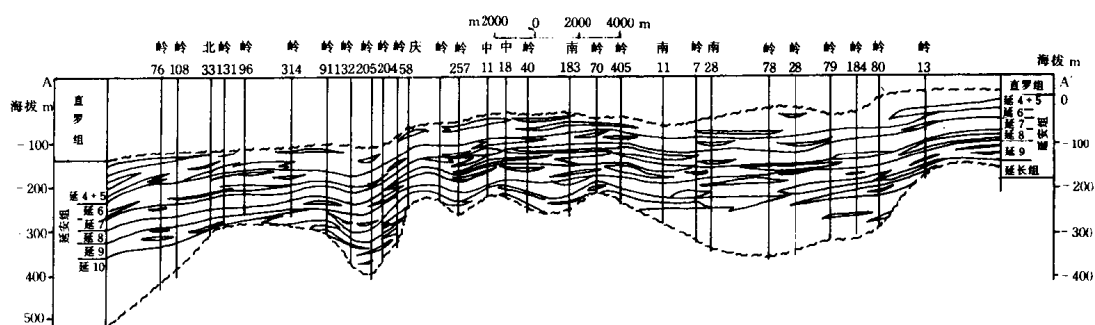


图 1.1 马岭油田侏罗系油藏剖面图

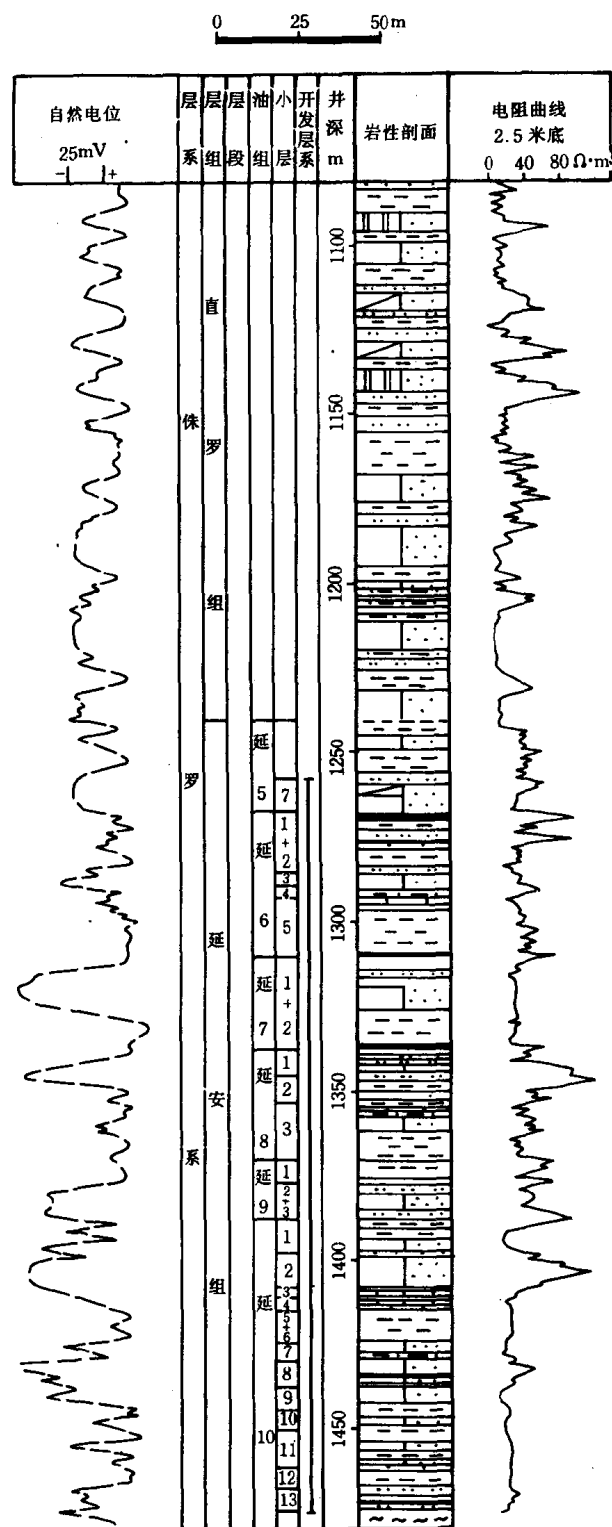


图 1.3 马岭油田结合柱状图

研究和认识油藏,是为了正确地划分油藏,不断提高勘探、开发效果。A. I. 莱复生(1967年)从勘探目的出发,对各类油藏的成因,曾做过说细的论述。更早的是N. O. 布罗德的油藏分类,他基于油田开发的实际,把油藏划分为层状的、块状的和不规则状三大类。豪金斯(1959年)指出:“油藏是在圈闭当中含有油气,并有它单独的水动力系统的部分”。因此,作者根据前人的研究,结合马岭油田油藏形态,水动力系统以及开发特征,大体上把马岭油田划分为两大类:即层状低渗透砂岩油藏和层状特低渗透砂岩油藏。

## 第一节 层状低渗透砂岩油藏

本区的层状油藏，在地层沉积单元中属于一个大的正向沉积旋回。即由下部的河流充填式沉积发展为上部的三角洲、沼泽相沉积。油藏形态由大到小，由连片分布到零星的小凸镜状砂体。同属甘陕古河沉积的水动力系统。

### 一、连片层状油层

分布在河流充填或沉积后期，古构造的两侧。成因上应属于地层超覆形成的构造——地层油藏。油层分布面积一般可达十几平方千米，油藏高度较大，油水分异清楚，投产初期含水低，注水开发后油井见效快，此类油层以马岭油田北区和中区的延10油层为代表。其特征如下：

1) 岩性以中砂岩为主的纯石英砂岩，砂体呈多阶性的正韵律（上细下粗）。常见冲刷面，下部发育交错层理、板状层理，向上为小型斜层理，波状层理及水平层理。据薄片粒度分析资料，采用福克等（1975年）图解法计算表明：曲线呈上凸的两段式；北区、中区的粒度分选为0.46~0.95；平均粒径 $\phi 1.61\sim 2.76$ ；跳跃组分62%~95%，跳跃斜率为44.0~660，细截点 $\phi 1.8\sim 3.45$ 。

2) 非均质性十分明显，纵模向上的物性变化很大。中区岭9井单井单层平均渗透率最高可达 $1614\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ，相距两个井距的中76井降低为 $26\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ，而中部则为 $(200\sim 2280)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ，相差近千百倍。

3) 无气顶、低饱和。原始地层压力14.52~14.85MPa，饱和压力3.47~5.73MPa。体积系数1.160~1.193。气油比34.8~62m<sup>3</sup>/t，油层温度50℃左右。原油性质好，含硫低，轻质馏分高，低含蜡的石蜡基原油。

4) 油藏高度较大（85~90m），油水过渡带高度仅为30m左右，因而油水分异清楚，顶部有纯油区，边部有油水过渡带和边水存在，但边水很不活跃。

### 二、不规则条带状油层

一般分布在延9油层组及以后的冲积平原和三角洲体系中，以马岭北区的延9为代表。砂体呈条带状分布，位于分流河道或曲流河道沉积中，含油面积与砂体基本一致，并呈条带状展布。油层初期投产含水低，上升慢，注水效果明显，油井稳产期比较长，其主要特征为：

1) 岩性以中—细粒长石质石英砂岩为主，砂体下粗上细，多为2~3个正韵律组成，斜层理发育，向上变为波状层理、水理层理。砂体长约2~3km，宽200~500m，砂体单层厚5~10m，累计厚20~30m。在条带状砂体内忽薄忽厚，呈不规则相变。薄片粒度分析资料表明，曲线呈三段式；粒度分选为0.69；平均粒径（ $\phi$ ）为1.57；跳跃组分85%；跳跃斜率为32℃；细截点（ $\phi$ ）2.15；粗截点（ $\phi$ ）0.5。

2) 非均质性较层状油层相对较好。渗透率在平面上单层平均 $(10.0\sim 50.0)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ，渗透率区间变化是伴随砂体的厚薄，渗透率高低各异，但变化范围较小。

3) 油水分布受砂体控制，各个砂体的自由水面高程各不相同。

### 三、不规则透镜状零星分布的油层

这类油层以延8层以上为主。油层单一含油面积小，厚度小于10m，油水过渡带高度也

小(5~10m)。一般物性较好,试采初期,产量较高,含水也高,但产量不稳定,其特点为:

- 1) 受岩性控制,呈分散的透镜状油砂体,有边底水或无边底水。
- 2) 部分砂体有自己的油水界面,油水分异不明显。

## 第二节 层状特低渗透砂岩油藏

这类油藏分布在马岭油田南区延10的急流辫状河流中,砂体由多层叠加厚度较大,矿物成分混杂;油层物性差,平均渗透率  $3.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;油水分异差。油层原始含油饱和度较高,压裂投产后,产量低,且油水同出。其主要特点是:

1) 油藏呈厚层状,岩性为中—粗长石硬砂质石英砂岩,岩屑含量高达20%以上,杂基含量变化在16%~48%之间,整个砂岩体厚50~100m,由多个不同粒度级别组成的交互叠层,每段砂岩都表现出由下向上,由粗到细的正旋回。岩心具平行层理、斜层理、交错层理和波状层理。薄片粒度分析资料表明,曲线呈三段或两段式,粒度分选为0.95~2.5;平均粒径( $\phi$ )1.3~3.05;跳跃斜率为 $31^\circ \sim 54^\circ$ ;粗截点( $\phi$ )0.2~0.3;细截点( $\phi$ )1.0~3.95。

2) 全部砂体呈不连续状含油,每一旋回下部粒度粗,渗透率相对比较好(大于 $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ),含油性较好;上部为细砂岩,致密坚硬,渗透率低(小于 $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ),含油差或不含油。纵向上油层呈不明显间互层出现,平面上由于油层物性普遍低( $(1.0 \sim 5.0) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ),变化范围大,就整体而言,含油不饱满。

3) 由于岩性致密,油藏中存在节理裂缝,以及压裂投产,使在局部井距270m正方形井网中,面积注水开发后位于裂缝带上的油井见到注水效果后很快水淹。目前注水证实有几条近东西向大裂缝存在,长度分别为1.9和1.7km(南23—岭61井)。注水开发过程中部分油井水淹快。

4) 油水分异差,边底水不活跃,主要受岩性和叠加透镜状砂体控制。所以油水界面高低起伏,从整个油藏看来,为油水同层,下部油水界面海拔约在-280~-300m。

由于油田内开发区块多,本书重点解剖了中一区 and 南试验区两种不同油藏地质模型的研究,建立了油藏地质模型,为油田开发过程中油藏工程分析和数值模拟奠定了基础。

## 第二章 层状低渗透砂岩油藏地质模型研究

油藏地质模型,是在油藏研究的基础上,重点对储油层各项参数在三维空间分布定量描述。马岭油田延安组储油层,是在三叠系末期古地貌谷地内,由限制性河流相沉积形成的一系列不同规模的砂体,经以后较强的成岩作用,使其储集空间变小并复杂化,在油层的上倾方向由一些致密不渗透带形成圈闭油气的遮挡条件,从而成为目前的低渗透多油层复合连片的层状低渗透砂岩油藏。马岭油田油层层数多、单层厚度薄、油层渗透率低(平均渗透率  $40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ),属层状低渗透砂岩油田,按照沉积特征和储层性质分成两种类型。同时由于在油田开发建立过程中划分的开发区块多,因此,本书以中一区 and 南试验区作为两种油藏类型的代表,通过不同油藏描述,建立了储层概念模型和静态模型,为油田开发过程中的油藏工程研究和数值模拟奠定基础。

### 第一节 马岭油田中一区油藏地质模型研究

#### 一、油藏描述

##### 1. 地层及含油层系

马岭油田中一区自下而上钻遇的地层有中生界三叠系延长组;侏罗系富县组、延安组、直罗组和安定组;白垩系志丹组;新生界第三系和第四系;主要含油层系为侏罗系延安组,油层埋藏深度在 1450~1650m。

延安组为一套砂泥岩互层夹煤层沉积,地层厚度约 300m,总体上呈下粗上细的正旋回。根据次级旋回及沉积性质的变化,分为延 4+5、延 6、延 7、延 8、延 9 和延 10 六个油组,43 个小层,18 个生产层,复合含油面积  $32.2\text{km}^2$ ,地质储量  $1926 \times 10^4\text{t}$ ,延 10、延 9 地质储量分别占总储量 65.5% 和 18.6%,是主力油层。

##### 2. 构造形态及成因

马岭油田位于陕甘宁盆地东南部,天环向斜东翼。构造“基底”是三叠系延长组顶部风化壳。三叠系末期,印支运动使盆地整体抬升,延长组遭受风化剥蚀和切割,古地形高低起伏,古河道、古残丘纵横分布,到侏罗系盆地整体下降,延安组早期地层沿河谷以填平补齐方式层层超复于古残丘周围,延 10 末期,沟谷基本填平,延 9 及以上地层广布其上,差异压实结果,形成了与古潜山,古残丘基本一致的披覆鼻状构造(图 2.1,图 2.2)。构造向西倾没,向东抬升,近东西向,构造面积约  $200\text{km}^2$ ,闭合面积  $18.8\text{km}^2$ ,闭合高度 20~30m,地层倾角  $10^\circ \sim 4^\circ$ 。

在鼻状构造内部可分为东、中、西三部分,西部为西倾的阶梯状斜坡,与贺旗凹槽相邻,走向北东,凹槽深度 100m 左右,它不仅控制着地层沉积,而且也是油气运移的重要通道。中部为微有起伏的平台,东部为三个东西向次一级隆起,隆凹相间,由北向南依次为岭 212—岭 116 隆起,中 75 隆起,中 64—中 73 隆起(表 2.1)。油层分布在平台区和构造的高部位,在上倾方向由岩相变化形成圈闭,为岩性构造油藏。



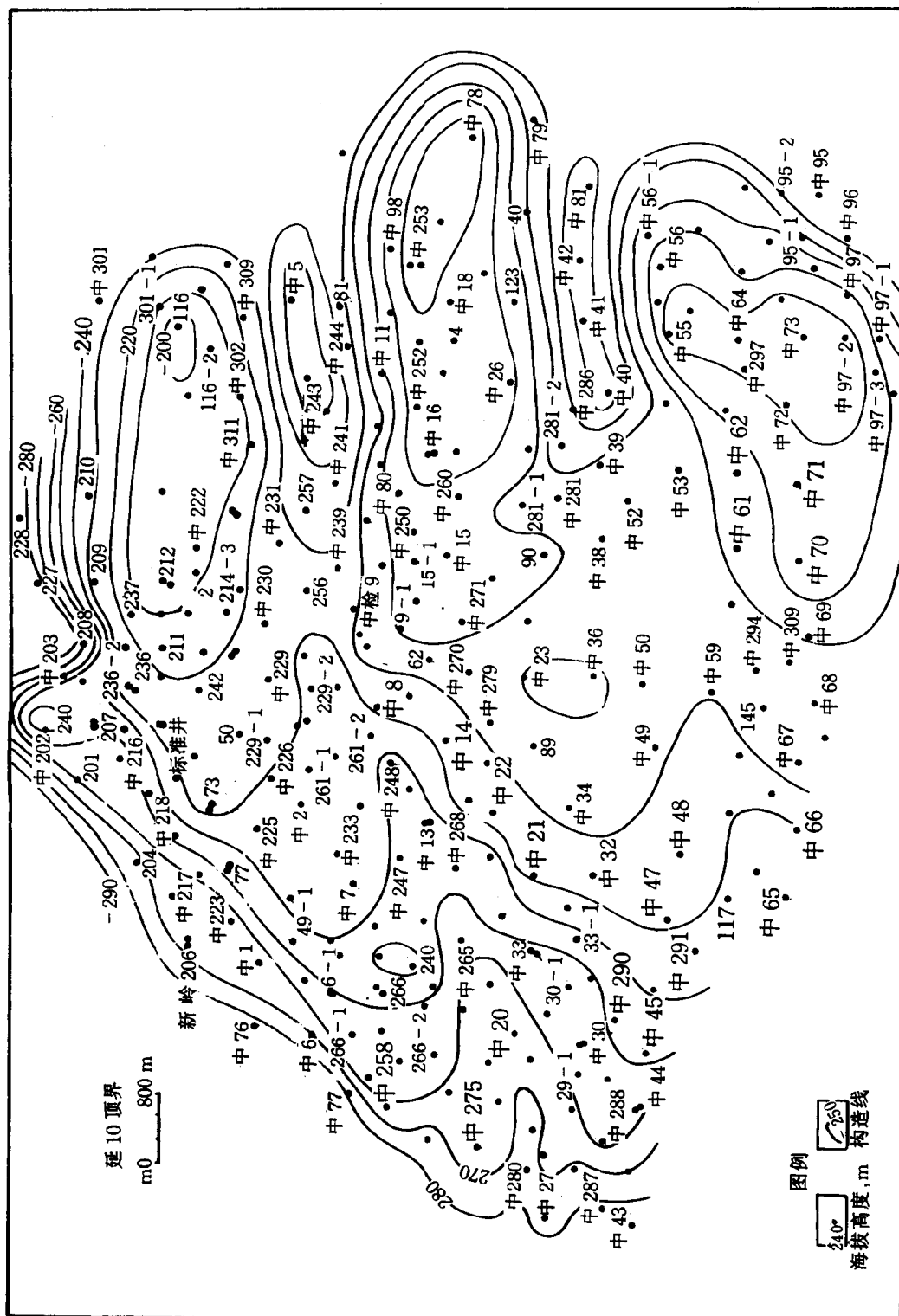


图 2.1 马岭油田中一区构造图 (延10 顶界)