

中国
油藏
开发
模式
丛书

多层砂岩油藏

大庆萨葡油层多层 砂岩油藏

THE MULTILAYERED
SANDSTONE
RESERVOIRS IN
DAQING OILFIELD

刘丁曾 李伯虎 等编著

石油工业出版社



登录号	138726
分类号	TE343
种次号	005

中国油藏开发模式丛书

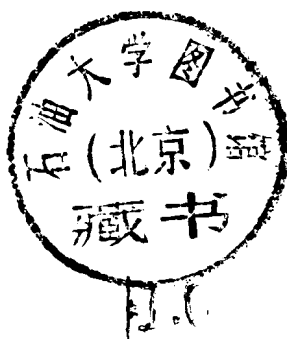
Series on Reservoir Development Models in China

· 多层砂岩油藏 ·

大庆萨葡油层多层砂岩油藏

The Multilayered Sandstone Reservoirs in Daqing Oilfield

刘丁曾 李伯虎 等编著



石油大学0142148

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“多层砂岩油藏”的典型实例之一。

本书以大庆喇萨杏油田为例,根据三十多年来油田开发所积累的丰富资料,对特大型多层砂岩油藏的地质特征进行了精细描述,并且在详细研究储层润湿性、渗流机理和开发特征的基础上,抓住注水开发特大型多层砂岩油藏全过程的矛盾变化,提出了该类油藏开发阶段合理的划分,以及进行多次布井、多次调整、接替稳产的开发模式。发展了与各开发阶段配套的分层注水、分层压裂、分层堵水和分层测试工艺技术,为此类多层砂岩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

大庆萨葡油层多层砂岩油藏/刘丁曾等编著.
北京:石油工业出版社,1997.9
(中国油藏开发模式丛书·多层砂岩油藏)
ISBN 7-5021-2116-1

I. 大…

II. 刘…

III. 砂岩油气田, 多层-油田开发-黑龙江

IV. TE349

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 19019 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 10.25 印张 262.4 千字 印 1—2000

1997 年 9 月北京第 1 版 1997 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2116-1/TE·1779

定价: 28.00 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 戚玥瑛

《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
一九八八年八月

前 言

大庆喇萨杏油田是一特大型砂岩油田，储层属于大型浅水湖盆河流—三角洲的沉积，具有油层多、厚度和物性差异特别大及原油密度、粘度和含蜡量偏高的特点。油田经过 35 年的开发，尤其是年产 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 以上连续 20 年的开发，积累了大量的资料和丰富的经验，在系统分析总结油田所经历的开发历程、详细描述油田开发的基本特点和规律的基础上，初步归纳出了多层砂岩油田高效开发的模式。

本书利用不同井网密度，在对各类储油砂体的分布形态、物性变化和注入水的水淹规律进行详细解剖的基础上，建立了详细的三维（非均质）地质模型；论述了储层润湿性、油水相渗透率等对驱油效率的影响；合理地划分特大型多层砂岩油田的开发阶段；形成了多次布井、多次调整、接替稳产的开发模式。尤其是在油田开发高含水后期，利用油层多层间差异大和开发井数多、各类井开采不均衡的特点，有计划地优选各种调整措施，实现各类井产液结构的调整，以达到在控制含水量增长条件下实现油田较长期稳产的新模式；论证了喇萨杏油田进行聚合物驱油的可行性和优越条件、油田上开展的聚合物驱油的先导性试验和工业化推广试验的良好效果；针对不同开发阶段的需要，以提高各类储层动用程度和油田开发效益为目的，形成了以分层注水、分层堵水、分层改造和分层测试为主体的分层开采工艺技术。

本书共分六章。第一～五章由刘丁曾、李伯虎、罗昌燕和唐金荣编写，第六章由徐志良和程兆蕙编写。本书完成后由刘丁曾、李伯虎进行了审定。

本书所采用的一些实际资料，来自从事大庆油田开发的众多技术人员。在编写过程中，得到了巢华庆同志的指正和帮助，杨贤梅同志对初稿进行了仔细的审阅。对他们的大力支持和指导，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

目 录

前言

第一章 油藏地质模型	(1)
第一节 构造特征	
第二节 油、气、水性质与分布.....	(1)
一、油、气、水性质及平面变化.....	(1)
二、原油性质在垂向上的变化.....	(2)
第三节 油藏类型.....	(2)
一、各层的含油砂岩是相对的独立体.....	(3)
二、油藏投入注水开发后,油水运动受各个层的控制.....	(3)
第四节 储层地质模式.....	(4)
一、储层和隔层标准.....	(4)
二、高含水期水淹层的测井解释.....	(5)
三、储层的垂向非均质性.....	(6)
四、储层的平面非均质性	(11)
五、不同井网密度下砂体的形态变化及其控制程度	(14)
六、储层三维、精细地质模型	(21)
第五节 分区储层模式	(23)
一、储层特征分区变化趋势	(23)
二、喇嘛甸地区	(25)
三、萨北地区和萨中的中区以北地区	(25)
四、萨南地区(包括南一区)	(26)
五、杏树岗地区	(27)
第二章 油藏注水开发的基本规律	(28)
第一节 储层岩石表面的润湿性	(28)
一、储层岩石表面润湿性的初始分布	(28)
二、润湿性的作用及转化	(29)
第二节 油层的油水相对渗透率曲线	(32)
一、喇萨杏油田的油层油水相对渗透率曲线的基本特征	(32)
二、油层岩心强水洗后对油水相对渗透率曲线的影响	(35)
第三节 油藏含水上升规律	(35)
一、油藏的含水变化规律	(35)
二、油藏含水上升率的变化规律	(37)
第四节 油井采液、采油指数的变化规律	(40)
一、油藏高于饱和压力开采时采液、采油指数的变化	(40)
二、油藏低于饱和压力开采时采液、采油指数的变化	(40)

第五节 注水井吸水指数的变化规律	(42)
一、注水井吸水指数与含水变化的关系	(42)
二、油田吸水指数与采液指数的关系	(42)
第六节 油田河道砂岩的水驱油特点	(43)
一、河道砂岩的非均质特点	(43)
二、不同非均质类型河道砂体的水驱油特点	(47)
三、不同地区不同类型河道砂体的水驱油效率	(49)
第七节 注入水在油层平面上的运动规律	(50)
一、注入水在平面上总是首先沿着厚层下切带水淹	(50)
二、油水运动的过程就是产量转移接替的过程	(50)
第三章 开发阶段及主要特征	(53)
第一节 开发试验阶段	(53)
第二节 油田全面开发建成 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 生产规模阶段	(53)
一、1965—1968 年分层注水、均衡开采阶段	(53)
二、1969—1972 年迅速建成年产原油 $3000 \times 10^4 \text{t}$ 生产规模阶段	(54)
三、1973—1975 年迅速建成年产原油 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 生产规模阶段	(54)
第三节 主力油层基础井网稳产阶段	(55)
第四节 层系细分调整稳产阶段	(56)
第五节 二次加密调整稳产阶段	(57)
第四章 油田开发的对策	(61)
第一节 油田的早期评价	(61)
一、生产试验区的开辟	(61)
二、开发资料井的部署	(62)
第二节 早期内部注水保持油层压力开发	(63)
一、采用早期内部注水保持压力的必要性	(63)
二、早期内部注水保持压力开发的效果	(64)
第三节 开发层系的划分和开发层系的细分调整	(65)
一、开发层系的划分	(65)
二、开发层系的细分调整	(68)
第四节 注采井网的部署	(74)
一、注采井网的类型	(74)
二、不同油层对井网的适应性	(75)
三、注水方式的对比	(78)
四、多套注采井网的配合	(80)
第五节 注采过程中的分层调整	(82)
一、多层开采的层间干扰	(82)
二、不同开采方案的效果对比	(83)
三、分层调整的作法	(85)
第六节 开发方式的转变	(86)
一、油井自喷稳产的基本特点	(86)

二、油井高含水期自喷稳产存在的问题	(89)
三、开采方式转变的效果	(92)
第七节 油田稳油控水结构调整	(94)
一、稳油控水的必要性	(94)
二、稳油控水的作法	(94)
三、稳油控水工作取得的效果	(96)
第八节 聚合物驱油	(96)
一、油田采用聚合物驱油的有利条件	(96)
二、聚合物驱油的效果	(97)
三、几个问题的认识	(98)
第五章 油田多次布井	(101)
第一节 基础井网	(101)
第二节 中低渗透层接替井网	(102)
一、中低、渗透层开发层系划分组合原则	(102)
二、中低渗透层开发井网部署原则	(102)
第三节 难采层加密调整井网	(102)
一、难采储层的主要类型	(103)
二、难采储层加密调整井网部署原则	(103)
第四节 高效调整井	(103)
第六章 工艺技术系列	(105)
第一节 概述	(105)
一、大庆喇萨杏油田发展、应用分层开采工艺技术的必要性	(105)
二、大庆喇萨杏油田分层开采工艺技术的适应性	(107)
三、大庆喇萨杏油田分层开采工艺技术的阶段性	(107)
第二节 分层注水工艺	(109)
一、分层注水在喇萨杏油田的应用及效果	(109)
二、试注工艺	(111)
三、分层配水工艺	(112)
四、注水井化学调剖工艺	(116)
五、注水井增注工艺	(117)
第三节 分层堵水工艺	(119)
一、分层堵水在喇萨杏油田的应用及效果	(119)
二、堵水原则界限及效果预测	(120)
三、堵水方式的选择	(121)
四、机械堵水工艺	(122)
五、化学堵水工艺	(125)
第四节 分层压裂工艺	(128)
一、分层压裂在喇萨杏油田的应用及效果	(128)
二、分层压裂工艺	(132)
三、分层压裂的选井选层	(139)

第五节 分层测试工艺技术.....	(140)
一、注水井吸水剖面测试工艺技术.....	(140)
二、采油井产出剖面测试工艺技术.....	(141)
三、分层测压工艺技术.....	(143)
四、工程测井工艺技术.....	(144)
第六节 油、水井套管防护及大修工艺技术.....	(147)
一、解卡打捞工艺技术.....	(147)
二、整形与加固工艺技术.....	(148)
三、套管补贴工艺技术.....	(148)
四、取换套管工艺技术.....	(148)
第七节 三次采油配套工艺技术.....	(149)
一、聚合物驱配套工艺.....	(149)
二、注气配套工艺.....	(152)
参考文献.....	(153)

第一章 油藏地质模型

第一节 构造特征

大庆喇萨杏油田位于松辽盆地中央坳陷区的长垣型背斜构造带北部,自北而南由喇嘛甸、萨尔图、杏树岗三个不对称的短轴背斜组成(图1.1)。构造带的西翼相对陡些,地层倾角达 $3^{\circ}\sim 20^{\circ}$,东翼较缓,倾角 $1^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 。在储油层顶部 T_1 标准层的构造图上,背斜带的最高点在萨尔图油田的南Ⅰ-4丙-27井附近,海拔为-632.2m,最大构造闭合高度达524m。

在喇萨杏油田共发现断层344条,以中小型正断层为主,断层走向呈NW和NNW方向,延伸长度多数为1~3km,垂直断距一般为40~100m,最大断距(指油层部位)为177m,整个储层的地层厚度有300~500m,断层只是使储层发生了错动,断层两侧不同层位的砂岩还可能部分连通,在背斜构造带的控制下形成了统一的特大型油藏。三个局部构造之间的鞍部也含油,目前只是习惯上根据局部构造的名称,从北向南分别称为喇嘛甸、萨尔图和杏树岗油田,合起来又称为喇萨杏油田,南北总长度近70km,东西宽度6~20km,含油面积920.3km²,探明石油地质储量 $41.7426\times 10^8\text{t}$,伴生天然气储量 $1924.76\times 10^6\text{m}^3$ 。

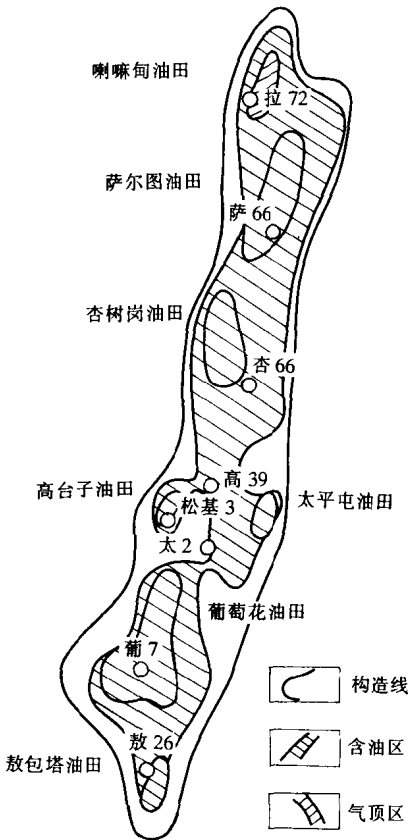


图 1.1 大庆长垣油气藏分布图

第二节 油、气、水性质与分布

一、油、气、水性质及平面变化

1. 原油

属于石蜡基原油,含蜡量达20%~30%,凝固点26℃左右,含硫量低,一般小于0.1%。地

层原油粘度从北向南有变低的趋势,喇嘛甸油田平均 10.2mPa · s,杏树岗油田降为 6.5mPa · s。地面原油相对密度 (D_4^{20}) 自北向南由 0.8670 降为 0.8510 (表 1.1)。

表 1.1 喇、萨、杏、葡油田葡萄花油层地层原油性质对比表

数值 项目 油田	饱和压力 MPa	粘度 mPa · s	气油比 m ³ /t	密度 g/cm ³	溶解系数 m ³ / (m ³ · MPa)	体积系数	压缩系数 ×10 ⁻⁴ /MPa	地饱压差 MPa
喇嘛甸	10.49	10.2	47.5	0.805	3.94	1.12	8.5	0.95
萨尔图	9.1	9.4	47.2	0.794	4.46	1.112	9.6	2.34
杏树岗	7.86	6.5	45.2	0.797	4.84	1.113	8.7	3.61
葡萄花	6.4	4.9	45.4	0.781	5.91	1.124	9.4	4.02

2. 伴生天然气

原始气油比为 46.8~42.0m³/t, 天然气中甲烷含量喇嘛甸油田为 90%左右, 杏树岗为 80%左右, 重烃含量为 4%~15%。相对密度北部为 0.64~0.68, 南部为 0.70 左右。

3. 油田水

为重碳酸钠型, 总矿化度为 6000~9000mg/L, 氯离子含量 1500~2500mg/L。

二、原油性质在垂向上的变化

在含油面积内, 由于所处的构造部位、油柱高度的不同和储层物性的差异, 在垂向上原油性质呈有规律变化, 其中喇嘛甸和萨尔图油田尤为典型, 从上至下原油性质可分为 3 段。

1. 纯油段

指油藏内纯含油层以上的部分, 在储油砂岩的孔隙中, 除了呈束缚状态的不流动水, 其余均被石油填充着, 没有发现水夹层出现, 开采时产纯原油。在该段下部距油水界面 50~100m 部分, 由于长期受边水的氧化作用, 原油性质有所变差, 而且向下越接近油水界面原油性质越差, 主要表现在原油粘度增加一倍至数倍, 地面原油相对密度增至 0.90 或者更高, 所以习惯上称为“稠油段”。

2. 油水过渡段

位于纯油层与纯水层之间, 厚度 10~20m, 个别达 30m, 该段的长短取决于储层岩性、物性的变化, 开采时油水同出。

3. 纯水段

产出液体中 100%是水。

第三节 油藏类型

喇萨杏油田具有共同的油水界面, 在喇嘛甸和萨尔图油田, 油水界面海拔为-1050m 左右, 向南逐渐抬高, 到杏树岗油田南端达海拔-1000m 左右。喇嘛甸油田在海拔-770m 以上存在气顶, 整个油藏无论在横向上还是在垂向上, 都具有统一的压力系统, 即折算到海拔-1000m 的基准面上, 其原始地层压力均在 12MPa 附近。

油藏内部储油单元的构成尤其是注水开发过程中的油水运动趋势, 都表明相对于喇萨杏油田形成的漫长地质历史, 油田开采时期是相对短暂的, 而且在开发过程中显示出层状构造油藏的许多特点。

一、各层的含油砂岩是相对的独立体

萨尔图和葡萄花油层的地层厚度为 180~250m，绝大部分是由入湖的多期三角洲叶状体叠合而成的。每个三角洲叶状体的构造一般从位于下部的湖浸泥岩开始，中间为砂质岩的主体，上部由过渡性岩石和泥岩结束，湖浸泥岩较薄，局部由于侵蚀而缺失。在垂向剖面上，每个三角洲叶状体大致与目前划分的砂岩组层位相当，萨尔图和葡萄花油层中共分为 16~18 个砂岩组，同一三角洲叶状体内的砂岩，沿着沉积方向可以连续延伸达 1km 以上。而不同三角洲叶状体内的砂层，从三维空间中看相互是大致平行、呈层状延伸的，它们之间由于泥质岩的分隔，相互是不连通或者极少连通的。

二、油藏投入注水开发后，油水运动受各个层的控制

油藏注水开发突破了油藏内原始的油水分布和压力平衡，而这些变化主要是由层所控制，以含油砂体为单元表现出来的。原始油藏内含油底界以上全为纯油的现象不见了，代之以高含水层、中低含水层与基本不含水层相间分布的新格局。同样原始的统一压力系统已被打破，出现了超高压层、正常压力层与负压层相间的新格局，促成这些变化的储层地质条件有两个：

首先是各层渗透率的明显差异性。入湖三角洲沉积环境的多变性，使得形成的各个砂层的孔隙结构和渗透性相差很大，高渗透层与低和特低渗透层的渗透率可以相差几倍至几十倍。在注水开发时，高渗透层先见效，含水高，压力也高，开发 20~30 年后，绝大多数已成为特高含水层。而低渗透层还是中低含水层，像

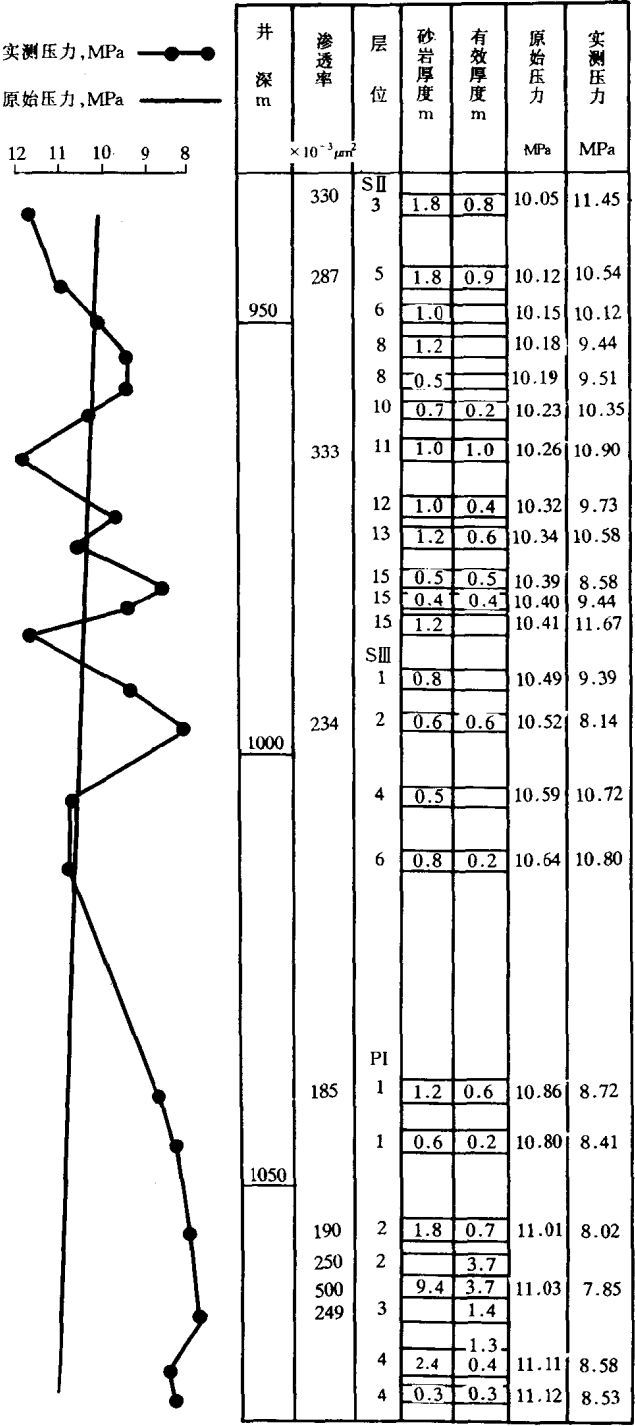


图 1.2 杏 3—2—丁 27 井 RFT 测井小层压力图

杏树岗油田某些区块的萨Ⅲ(SⅢ)组油层,属于特低渗透性储层,单独试采证实,目前还只含微量的水,基本上产油。当对注水井短期停注时,高渗透层由于传导能力强、泄压快又会变成低压层。这从大量的“RFT”分层测压已得到了证实(图1.2)。

其次是储层剖面上一些特殊岩层的存在。在萨Ⅰ(SⅠ)组油层的顶、底部有着较厚的黑色泥页岩和油页岩层,由于岩石的页理比较发育,当一定范围内注入水压力接近岩层破裂压力时,注入水将沿着结合程度较差的页理面突破侵入,在该层位形成大面积的侵水域,导致不含自由水的泥页岩含水增高,水敏性粘土矿物膨胀,地层压力大幅度升高。例如位于构造高点的萨南二、三区西部,1987—1988年钻调整井35口,据14口钻杆测压资料统计,在该层位深度为750~850m的井段,地层压力高达12.6~19.9MPa,比位于下部的葡Ⅰ(PⅠ)组油层压力还高出2.5~10MPa,造成了钻新井过程中“上喷下漏”的异常现象。

第四节 储层地质模式

一、储层和隔层标准

1. 储层的岩性和物性

储油层以细粒长石砂岩和硬砂质长石砂岩为主,还有少量的中粒和粉粒砂岩。碎屑矿物中长石含量40%~50%,石英含量30%~40%,岩块含量10%左右。砂岩胶结物主要为泥质,含量5%~20%,构成泥质的粘土矿物主要是高岭石(含量大于50%),其次为伊利石,另有少量的蒙/绿混合层。碳酸盐含量一般在1%以下。

储层受后生成岩作用较弱,属于中成岩早期产物,所以砂岩的孔隙特征仍然主要受原生沉积结构的控制,为孔隙—接触式的胶结类型,储集空间以原生的粒间孔隙为主,有少量次生孔隙。孔隙内的粘土矿物产状多数为分立质点式,少数为薄膜式分布。因此储层的物性较好,孔隙度一般在22%~30%之间,渗透率的变化范围为 $20 \times 10^{-3} \sim 4000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,如果考虑表外储层,空气渗透率可低至 $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2. 储层标准

从油藏形成史研究认为,砂岩在油藏形成前是饱和了水的,因而具有亲水的润湿性。以后随着长垣型背斜构造带的出现和发展,正遇上松辽盆地中部含油组合大量生成油气的时期,在油水密度差形成的浮力驱动下,油气不断涌入构造中,驱替并取代孔隙中的水形成了油藏。其中含泥质很低的净砂岩的有效连通孔隙几乎全为油气充满,形成了油砂和含油级的砂岩;而含泥较高或者夹杂泥质条带斑块的,则形成油浸状和斑状含油。这些油气由于有上伏巨厚黑色泥岩盖层得以很好地保存,无论是何种产状的油仍然保持着可流动的原始状态,可以说凡带有含油产状的砂岩都可能出油,并且已由大量的室内水驱油试验和大量的不同含油产状储层的单层试油得到了证实,这一特点正是我们深入研究储层的前提。由于储层的粒度、泥质含量、沉积结构和储油物性的不同,影响了含油的饱满程度,使得同属储层范畴的储层其产出条件和产量大小相差极大。为此结合大庆油田的开发历史,将储层按质量分为两种。

(1) 有效厚度

按定义是指含油岩石中具有可流动油并且具有开采价值的油层的厚度。有效厚度的确定是相对的、有条件的,在一定的储油条件下油井能否达到工业油流,与开采层系、开发方式和增产措施有密切关系,随着开采技术的进步,大庆油田油层有效厚度标准也有所变动。据

1985 年制定的有效厚度的新标准,是指用抽油机开采条件下,对出油有直接贡献的那部分厚度,其渗透率的下限为 $20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 在过渡带和原油比较稠的层段为 $40 \times 10^{-3} \sim 50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 在岩性上属于油浸级以上的粉砂岩和砂岩。喇萨杏油田目前经国家储委批准的探明地质储量就是用这个标准确定的有效厚度计算的。

(2) 表外储层

是指具有含油产状但是未达到目前有效厚度标准的那部分砂岩,实际是一些质量相对差的油层。虽然在正常开采条件下产油很少,经过压裂等改造措施后仍能达到工业油流标准,由具有油斑、油浸产状的泥质粉砂岩和含泥粉砂岩构成,泥质含量高达 $11\% \sim 15\%$,少数达 $20\% \sim 25\%$,含油较饱满的油砂条带呈几厘米厚的条带和斑块状混杂于其中,形成多种形式的结构。表外储层本身的岩性和含油性也有较大差别,其中含油较好,某些电性参数接近原有效厚度下限标准的,在油田开发初期已解释为“砂岩”,现在称为一类表外储层。还有些含油级别更低的,以油斑泥质粉砂岩为主,或者因含钙、含泥高而使测井显示更复杂的油浸泥质粉砂岩,过去无法判断,随着测井解释技术的提高,近几年也研制出了解释这些表外储层厚度的图版,将这种 1985 年前未当“砂岩”解释的表外储层称为二类表外储层。

3. 隔层标准

隔层也称为遮障层或阻渗层,就是储油气地层中能够阻止或控制流体流动状态的岩层。储集层与隔层不是截然分开的,随着油田开采技术的提高,隔层的标准也在变化。

喇萨杏油田构成隔层的岩性是:泥岩、粉砂质泥岩、泥质和钙质粉砂岩,隔层的物性界限为空气渗透率 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以下。这些隔层的特点是:

1) 不含油、没有含油产状,只是少部分泥质粉砂岩中不均匀地掺有零星油迹,所以即使在进行压裂措施时也不会产油。

2) 构成隔层的岩石主要由微细孔隙组成,连通程度很差,所以可以起到隔离流体的作用。从岩石压汞实验结果表明(图 1.3),在渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以后,随渗透率的降低,压入汞的门坎压力会迅速增加,而在渗透率大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以后,随着渗透率的变化,压入汞的门坎压力变化都比较缓慢,说明只有在渗透率大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以后,岩石中的孔隙才是连通有效的。

3) 隔层对流体的隔绝能力与其组成岩石含砂量的多少有密切关系,较纯泥岩的隔绝能力最好,它的平均渗透率在 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以下,而粉砂质泥岩在 $0.025 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 左右,不含油的泥质和钙质粉砂岩的渗透率在 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以下。

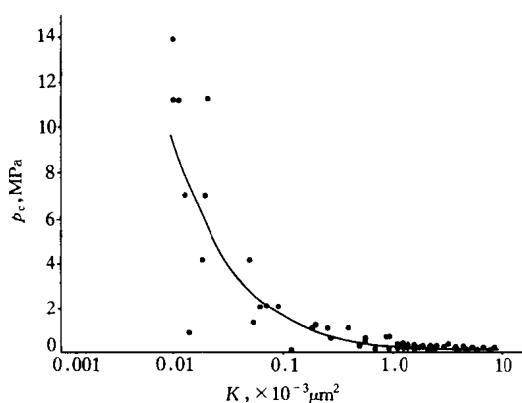


图 1.3 门坎压力 p_c 与渗透率 K 关系图

二、高含水期水淹层的测井解释

1. 高含水期油水分布特点及其测井系列

油田进入高含水阶段,油层中流体分布发生了巨大的变化,含剩余油部分与含水部分犬牙交错,油层水淹后各部位水洗程度悬殊,剩余油在空间上呈高度分散状态,油层中水的矿化度高低多变。总的趋势是剩余油主要存在于厚油层的低渗透部位和薄差层中,受渗流阻力及注采系统不完善的制约,油层的这些部位地层压力明显偏低,造成钻井液侵入较深,给测

井资料解释带来很大难度,而油田开发希望测井能做到:1)在厚油层内要准确确定未含水及低含水部位,以便确定调整井两次射孔方案;2)要细分层内非均质段,提供小至0.2~0.3m层段的渗透率值;3)对薄差层要将中低含水层与高含水层准确地区别开来,使二次加密井产出液中含水小于60%;4)要将特高含水层,尤其是高压特高含水层划分出来。而原有的测井系列已不能满足上述要求,经过“八五”以来的理论研究和实验,仪器研制和现场试验,通过各种测井方法的组合应用对比,用密闭取心资料检验,形成了适于高含水期水淹层测井系列,即以高分辨率三侧向、高分辨率声波、密度、微球测井及无铀自然伽马曲线为主的测井新系列。

2. 水淹层测井解释方法

(1) 测井曲线高分辨率处理方法

新的测井系列虽然具有较高的分辨率,但是仍然没有很好地调和测井深度与分辨率之间的矛盾,即有一定探测深度而分辨率不高,具有较高分辨率后探测深度都比较浅的问题。为此,研究了提高分辨率处理方法:一是采用正则化反褶积方法处理,以提高测井曲线纵向分辨率,二是采用匹配波与非线性拟合方法处理,使测井曲线既有较高的分辨率,又能保持较大的探测深度。

(2) 厚油层细分水淹层解释方法

厚层非均质细分水淹层解释模型采用先定性判别水淹程度,然后定量计算储层系数和确定水淹级别的方法,有效地减小了注淡水及污水回注导致的地层水电阻率变化复杂的影响。该方法可提供储层的渗透率、孔隙度、束缚水饱和度、目前含水饱和度、含水率等参数。

(3) 薄层水淹层解释方法

在理论上分析注水开发油藏宏观水淹机理的基础上,建立了水淹层测井解释理论模型——双地层水电阻率模型,并针对注入水矿化度多变(即注淡水及污水回注),导致水淹层地层水电阻率的复杂变化难以确定的难题,采用“多重迭代递归”方法解决了在地层水电阻率未知情况下含水饱和度的求解问题,使薄层、水淹层测井解释有了突破。

3. 检验与应用

高含水期水淹层测井系列和解释方法,自投产以来不断完善和改进,到1995年上半年已为大庆油田测井解释1073口井,其中解释厚油层井868口,薄油层井205口。经投产后的开采动态验证,厚油层解释结果符合率达88%,薄油层解释结果符合率达78%。预计大庆油田今后每年将有近2000口调整井要应用这种水淹层测井解释方法^①。

三、储层的垂向非均质性

1. 层间非均质特征

地质历史上的松辽湖盆,是在青山口组—姚家组—嫩江组大规模的水退到水进的转折时间,在进入大型浅水湖盆的河流—三角洲环境下,依次形成了喇萨杏油田的高台子、葡萄花和萨尔图油层的砂泥岩互层。在垂向上出现了依次为泥岩—砂岩—泥岩的众多小旋回,每个小旋回在层位上大体相当于一个砂岩组(图1.4),在盆地北部的三角洲沉积体系内可以追踪对比,然而由于各个砂岩组沉积能量的差别,对相应的砂岩孔隙特征和渗透率高低有着重大影响。反映水流搬运沉积能量大小的指标主要是岩石的层理构造和粒度,前者已有详尽描述。

① 此处主要根据常明彻等同志的报告。