

红岗萨尔图层低渗透砂岩油藏

中国油藏开发模式丛书

石油工业

大学(北京)

348
005

低渗透砂岩油藏

红岗萨尔图层低渗透 砂岩油藏

THE LOW PERMEABILITY
SANDSTONE RESERVOIRS
OF SHAERTU IN HONG-
GANG OILFIELD

钟显彪 等编著

石油工业出版社

登录号	127549
分类号	TE348
种次号	005

中国油藏开发模式丛书

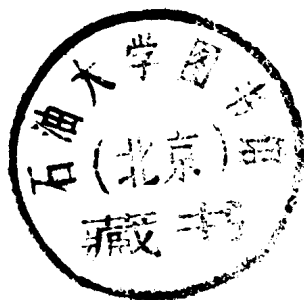
Series on Reservoir Development Models in China

· 低渗透砂岩油藏 ·

红岗萨尔图层低渗透砂岩油藏

The Low Permeability Sandstone Reservoirs of Shaertu in Honggang Oilfield

钟显彪 等编著



石油0121624

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书是《中国油藏开发模式丛书》中分类模式部分“低渗透砂岩油藏”的典型实例之一，是关于层状低渗透砂岩油藏开发模式方面的专著。

作者依据吉林红岗油田萨尔图油藏开发实例，运用二十多年开发所积累的丰富资料，从低渗透层状砂岩油藏地质描述、开发过程中的有关驱油机理和渗流特征以及不同开发阶段的划分和各阶段的优化部署对策等方面，较全面地论述了层状低渗透砂岩油藏开发全过程的技术特点和基本规律，建立了最佳开发效益的油藏开发模式以及相适应的工艺技术系列措施。红岗油田萨尔图油藏的开发反映了我国层状低渗透砂岩油藏开发的一个方面，并为此类油藏的开发建立了科学模式。

本书可供石油地质、油田开发、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

红岗萨尔图层低渗透砂岩油藏/钟显彪等编著.
北京:石油工业出版社,1997.2
(中国油藏开发模式丛书·低渗透砂岩油藏)
ISBN 7-5021-1931-0

I. 红…

II. 钟…

III. 低渗透油层-砂岩油气田-油田开发-研究-中国-吉林

IV. TE348

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 00271 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 11 $\frac{1}{4}$ 印张 280 千字 印 1-3000

1997 年 2 月北京第 1 版 1997 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1931-0/TE·1625

精装定价: 45.00 元 平装定价: 32.00 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
一九九一年八月

前 言

我国在层状低渗透砂岩油藏的开发过程中，在开发部署和工艺技术对策方面已积累了较多的实践经验。但由于各油田投入开发的时间不同，受到当时理论、经验及技术的限制，都不同程度地走过弯路。虽然积累了大量成功和失败的经验，但目前来看，对开发本类油藏还没有建立起模式化的科学指导。这样，对油田在开发过程中可能出现的问题缺乏预见性，对采用的工艺技术缺乏针对性和有效性。

因此，为了增强这类油藏开发决策工作的科学性和预见性，提高开发效果和经济效益，形成科学合理的开发程序和有针对性的工艺技术，研究建立层状低渗透砂岩油藏开发模式具有重要的意义。

分析总结油藏所走过的开发历程，研究预测油田开发全过程的技术特点和规律，以达到对油田开发具有预见性，使油田开发达到最佳的开发方式和经济效益，为我国同类油藏的开发起到指导作用，这是建立油田开发模式的目的。

本书主要依据吉林红岗油田萨尔图油藏的开发实践以及其它同类油藏的开发经验，紧紧围绕层状低渗透砂岩油藏的特点，建立起本类油藏早期分层注水、压裂投产、合理井距和注采方式，大压差强采；在开发过程中，通过动态分析，使分层配水达到科学合理，采取重复压裂整体改造的增产措施等，使油田具有较长时间稳产和高产的做法。

本书中介绍了红岗油田萨尔图油藏的主要地质特征和建立三维地质模型的方法。运用数值模拟技术，计算了不同注采方式、不同井距的开发方案，并进行了经济评价，结合油田开发实践，得出了最佳井距和注采方式的方案。成功地运用了翁旋回和逻辑斯特旋回对油田产油量和含水率作拟合和预测，并划分出合理的开发阶段。同时，也介绍了对本油田有效的各种工艺技术，特别是重复压裂工艺技术。这些内容对同类油田的开发都将有很好的借鉴作用。

本书由钟显彪组织编写，全书共分四章。参加编写的人员有：第一章 钟显彪、石磊；第二章 钟显彪、刘亚菊、石磊；第三章 陈喜田、吴丽波、李亚洲、钟显彪、梁玉梅；第四章 钟显彪、迟艳丽。全书最合修改、定稿由钟显彪完成。

本书在资料收集、编写及出版过程中，得到了许多有关领导和同志的关心及大力支持，在此谨向所有关心、支持过本书的同志表示衷心的感谢！

由于我们水平有限，书中有些观点和认识难免有错误和不当之处，恳切希望读者给予批评指正。

目 录

第一章 红岗油田萨尔图油藏地质模型	(1)
第一节 油藏地质模型的类型.....	(1)
第二节 油藏静态地质模型的建立.....	(2)
一、油田规模的地质模型.....	(2)
二、砂体规模的地质模型.....	(4)
三、层内规模的地质模型.....	(7)
四、孔隙规模的地质模型	(10)
第三节 油藏概念地质模型的建立	(20)
第四节 油藏成因简述	(20)
一、储层形成的沉积作用	(20)
二、成岩作用与次生孔隙	(22)
三、构造作用	(23)
四、地化作用	(26)
第二章 红岗油田萨尔图油藏开发模式	(28)
第一节 油田开发全过程基本规律描述	(28)
一、综合含水、产油量随时间的变化规律	(28)
二、油田（井）采液指数、采油指数随时间的变化规律	(35)
三、储量的动用特征	(39)
四、驱动能量及油水运动特征	(39)
五、影响开发效果的主要因素	(58)
第二节 不同开发阶段的部署对策研究	(60)
一、油田开发阶段的划分	(60)
二、油藏评价和开发方案的制订	(63)
三、开发过程的监控和调整	(87)
四、提高油田的采收率	(99)
第三节 建立合理的开发程序.....	(113)
一、早期油藏评价.....	(113)
二、编制油田开发方案.....	(113)
三、低含水期开采.....	(114)
四、中高含水期开采.....	(114)
五、高含水后期开采.....	(114)
六、提高采收率方法研究.....	(114)
第三章 红岗油田工艺技术系列	(115)
第一节 钻井工艺及防止油层污染技术.....	(115)

一、钻开油层时对泥浆的选择与要求·····	(115)
二、射孔过程中对油气层的保护·····	(115)
三、保证固井质量,防止管外窜槽·····	(116)
四、钻开油层和完井应注意的主要问题·····	(117)
第二节 注水工艺技术及水质要求·····	(117)
一、分层注水工艺·····	(117)
二、注入水处理工艺·····	(120)
第三节 提高单井产量的压裂工艺技术·····	(121)
一、油层改造对油田开发的作用·····	(121)
二、压裂规模及施工基本参数·····	(134)
三、压裂工艺技术前景预测·····	(134)
第四节 吸水、产液剖面及裂缝方位的监测技术·····	(135)
一、吸水剖面监测技术·····	(135)
二、产液剖面监测技术·····	(136)
三、裂缝方位监测技术·····	(137)
第五节 提高注入水波及体积和采收率工艺技术·····	(137)
一、堵水、调剖、改善产液和吸水剖面·····	(137)
二、堵水调剖的前景预测·····	(138)
三、油井酸化·····	(138)
四、放大压差抽油·····	(139)
第四章 红岗油田开发经验总结和对提高砂岩油藏开发水平的一些想法·····	(141)
第一节 红岗油田地质与开发概况·····	(141)
一、地质概况·····	(141)
二、开发概况·····	(142)
第二节 注水开发效果评价·····	(144)
一、含水率变化评价·····	(144)
二、注水利用状况及分析评价·····	(145)
三、地下耗水量评价·····	(147)
第三节 加密调整效果分析·····	(148)
一、水驱控制程度和采收率分析·····	(148)
二、采油速度分析·····	(149)
第四节 红岗油田开发历程总结·····	(150)
一、开发调整前,编制方案指导实施·····	(150)
二、不断加深对油田地质、开发的再认识·····	(151)
三、注重获取本油田的实际资料 and 进行试验研究·····	(161)
四、矿场应用方法研究·····	(162)
五、对油田稳产及提高采收率的研究·····	(163)
六、开发历程经验总结·····	(164)
第五节 对提高砂岩油藏开发水平的一些想法·····	(165)

一、关于沉积相的问题.....	(165)
二、关于天然能量大小的评价问题.....	(166)
三、关于提高油藏开发水平今后的努力方向问题.....	(166)
参考文献	(169)

第一章 红岗油田萨尔图油藏地质模型

对于碎屑岩储层形成的油藏，建立地质模型时，一般要建立三维量化地质模型。所谓三维量化地质模型，就是把油藏各种开发地质特征在空间的分布定量地描述出来。重点是储层参数的三维分布，而构造、流体性质及其分布则相对易于定量描述。

开发地质特征就是指影响流体流动特征的地质因素，概括地说，就是制约油田开发过程，决定或影响油藏（田）开发战略的油藏地质特征。油藏开发地质特征是由构造、储层和流体三要素组成的。油藏三要素都会影响开发过程。所以，油藏地质模型建立的精细程度，将直接影响开发指标预测的精度。正如美国学者 F. F. 克雷格指出的^[1]：“只要能给定储层非均质性的详细描述，就能够精确地推算出它的开发动态，对某些具体的油田来说，更迫切需要进一步改善表述它的非均质性的方法。攀登有效的注水开发这一目标，要靠这样的梯子，它的一条腿是综合应用各种注水预测方法，另一条腿是定量地表述储层的非均质性。”

从上述这一段话就足以说明描述储层非均质性的重要性，而建立三维定量地质模型，正是更精确地定量表达储层的非均质性。所建地质模型一定要突出油藏的地质特征，客观真实地反映出油藏特点。

对于层状低渗透砂岩油藏来说，其突出特点是：

- 1) 都是储存于湖盆内的主要沉积体系——河流三角洲沉积体系；
- 2) 储层都是典型的湖盆河流三角洲砂体，典型的陆相沉积，表现为多油层、砂泥岩薄互层，多旋回性，好坏油层交错间互；
- 3) 一套层系内必然出现好、中、差油层（或Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类油层），在开发过程中应区别对待；
- 4) 有构造油藏，也有岩性油藏，储层薄，分布较稳定；
- 5) 被较深的成岩作用所改造，从而形成低渗透砂岩油藏；
- 6) 储层渗透率一般小于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，储层仍以孔隙型为主，但次生孔隙发育，描述时要突出次生孔隙的特殊性；
- 7) 储层润湿性一般都是亲水的，含水饱和度高；
- 8) 仍可以有效地注水开发。

鉴于以上油藏特点，建立地质模型时就有了一定基础，着重突出其主要特点就能达到目的。

第一节 油藏地质模型的类型

油藏地质模型大体上可分为三种类型：

1) 概念模型：把某一类储层概念化、典型化。这一类地质模型为研究开发战略部署、进行宏观决策服务。

2) 静态模型：把某一开发区一个层系的具体储层如实地描述出来，代表所研究的对象。它为编制开发方案和调整方案服务。

3) 预测模型: 对控制点以外的地区带有预测性的。主要研究油藏内部, 特别是孔道内部、井和井之间细微的流态变化。这一类模型是更精细、要求精度更高的模型。对数百米距离的井间渗透率变化, 不是简单地内插, 而是能作出每数米或数十米变化的预测。它为开发后期研究剩余油分布和提高采收率服务。这类模型本次不进行研究和具体建立。

第二节 油藏静态地质模型的建立

本类油藏是呈层状的, 即为砂泥岩互层, 所以在建立本类油藏地质模型时, 用平面图加剖面图或栅状图就完全可以把油藏地质特点描述清楚。影响流体特征参数很多, 如储层厚度、水平渗透率、垂直渗透率、孔隙度、含油饱和度、含水饱和度、泥质含量、泥质薄夹层, 还有相对渗透率、润湿性、毛管压力特征等, 实际工作中更为重要的是储层厚度、渗透率和层内不连续的泥质薄夹层。渗透率分布变化最大, 是影响流体流动的主要参数, 如果把渗透率的空间分布描述清楚, 其它参数一般都能找到与其相关的表达式, 进而描述出来。

在具体建立油藏地质模型时, 要分级别进行。下面以红岗油田萨尔图油藏为例, 分级别建立。

一、油田规模的地质模型

这一级别的模型把全油田(开发区)的一套层系储层作为一个整体进行描述, 实质是突出层间矛盾。进行整体油藏模拟时要用到该种地质模型。

层间非均质性是决定开发层系、分层开采工艺技术等重大开发部署的依据。沉积旋回性决定了砂体在剖面上发育程度的变化, 隔层的泥质岩类发育及分布规律都是储层层间非均质性的主要内容。下面先对红岗油田层间非均质性进行描述。

1. 储层纵向非均质性

红岗油田萨尔图油藏分两个油组(或油藏), 为 S I 和 S II 油组, 产油层共有 22 个, 其中 S I 组 3 个, S II 组 19 个。一般分层系数用来反映旋回性, 即纵向非均质性。分层系数为油井夹层数总和除以总井数, 越大表示夹层越多, 分层性高, 非均质越严重。统计 210 口井 1443 夹层, 结果分层系数平均值为 6.87, 说明储层分层性高, 非均质严重, 这正是本类油藏储集层的特点, 见油藏剖面图 1.1。

2. 各砂层间渗透率差异

常用以下几个统计指标来反映砂层间渗透率的非均质程度。

(1) 渗透率分布型式

统计表明, 油田渗透率分布采用 Γ 函数可很好地反映其非均质性。红岗油田 5 口取心井统计结果, 其渗透率分布为 $\Gamma(x)$ 型, 自由度 $\nu=1.5$, 则变异系数 ($V_k=\sqrt{\frac{2}{\nu}}$) 为 1.155。说明渗透率分布范围较大, 不集中, 非均质较严重。

(2) 单层突进系数

即各砂层中最大渗透率与各层平均渗透率比值(也称非均质系数), 其值越大, 说明非均质性越严重。本次利用红岗油田电测解释渗透率进行 S II 组的统计(S I 组大多为气层, 无解释图版), 共 80 口井, 其结果单层突进系数在 1.02~3.08 之间, 平均为 1.62, 说明层间非均质性较严重。

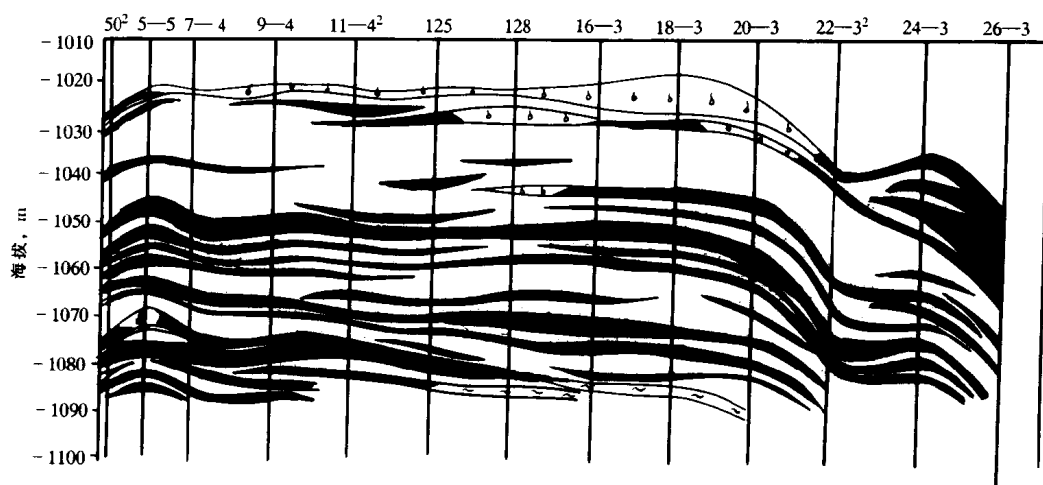


图 1.1 红岗油田油藏剖面图 (北—南)

(3) 变异系数

指各砂层渗透率的标准偏差与其平均渗透率之比。统计 80 口井, 结果变异系数在 0.04~2.41 之间, 平均值为 1.0, 与前面岩心统计结果 1.155 一致, 说明层间非均质性较严重。

将 80 口井的变异系数绘制成全油田 S II 组层间变异系数图, 看到全油田纵向非均质性在平面上的展布, 见图 1.2。可见变异系数大于 0.7 较多, 层间非均质性较严重。

(4) 渗透率级差

即各层中最大渗透层与最小渗透层其渗透率之比。其值越大, 反映层间非均质性越严重。统计 80 口井, 结果, 其值在 1.07~21.9 之间, 平均值为 4.15, 说明层间非均质性较严重。

通过上面 4 个参数的统计结果, 其结论是一致的, 红岗油田层间非均质性较严重。这几个参数也是相关的, 经回归处理, 其关系式为:

1) 级差 (K_m) 与突进系数 (α_s) 成正比, 其相关式为:

$$\alpha_s = 1.0283 + 0.1428K_m \quad (1.1)$$

相关系数 $r=0.729$, 井点数 $n=80$

2) 级差与变异系数 (V_k) 成正比, 其相关式为:

$$V_k = -0.0035 + 0.2510K_m \quad (1.2)$$

相关系数 $r=0.897$, 井点数 $n=80$

从上述关系式可见, 非均质参数间的关系是密切的, 参见图 1.3 和图 1.4。

3. 砂层厚度分布

砂层厚度据 26 口井 3102 层统计, 单层最大厚度 S I 为 10.6m, 最小为 0.4m, 一般为 1.0

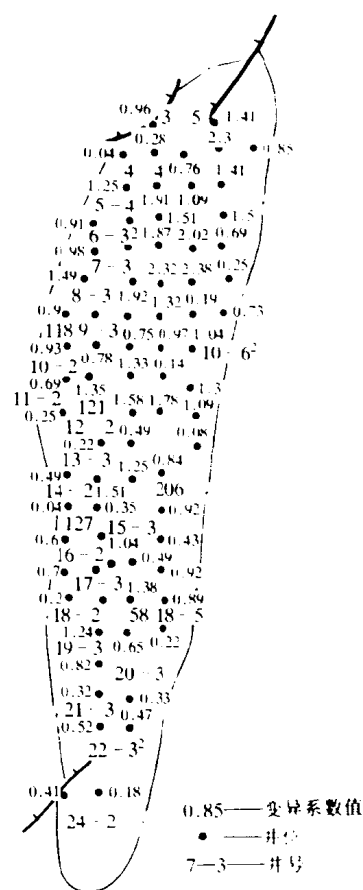


图 1.2 红岗油田层间 (S II) 变异系数图

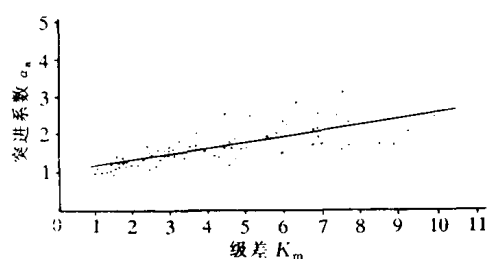


图 1.3 红岗油田层间渗透率级差与突进系数关系

~3.0m, 平均为 1.92m; S II 最大厚度为 13.8m, 最小 0.4m, 一般为 0.8~2.2m, 平均 1.13m。单层厚度小于 2m 的有 2165 层, 占统计总数的 69.7%。由此可见, 红岗萨尔图油藏储层为薄互层, 见表 1.1、图 1.1。

4. 隔层厚度分布

隔层基本为泥岩, 分布稳定, 厚度在 0.8~3.5m 之间, 一般为 1.5m 左右, 与砂层厚度相近。可进一步看出红岗萨尔图油藏砂泥岩互层的特征, 见表 1.2 和图 1.1。

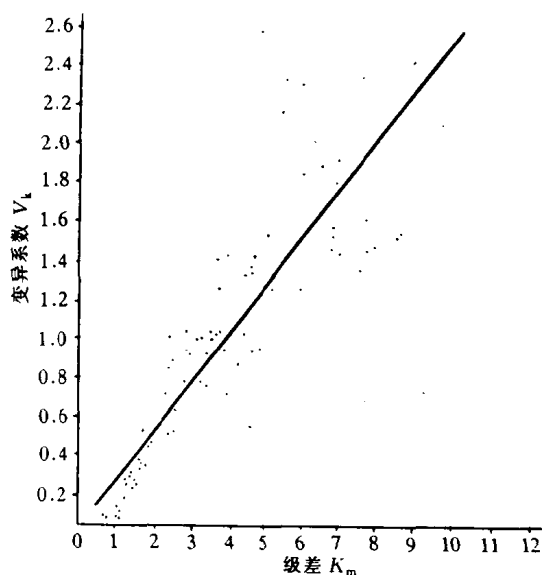


图 1.4 红岗油田层间渗透率级差与变异系数关系

表 1.1 红岗油田单砂层厚度统计表

区 块	小于 2m 的单层数	总层数	占总层数, %	产 状
I	422	624	67.6	薄 互 层
II	509	747	68.0	薄 互 层
III	585	769	78.3	薄 互 层
IV	376	521	72.2	薄 互 层
V	273	441	61.9	接近薄互层
全油田	2165	3102	69.7	薄 互 层

5. 主力油层与非主力油层分布

在红岗油田 22 个产油层中, 以单层储量占总储量的百分数为主, 适当参考渗透率, 进行小层排队 (其中储量中的两个因素以面积为主, 厚度次之)。分为三类油层, I 类为主力油层, 有 4 个, 依次为 S I₁、S II₄、S I₂、S II₁₂; II 类为一般油层, 有 7 个, 依次为 S I₃、S II₈、S II₉、S II₄²、S II₇、S II₅¹、S II₁₃ 号小层; III 类为次要油层有 11 个, 依次为 S I₂、S II₅²、S II₆、S II₈、S II₁₄、S II₁₅、S II₀、S II₁₁、S II₁₀、S II₃、S II₁₆ 号小层。

可以看出, 红岗油田主力油层与非主力油层间互分布, 但相对集中 (S I 和 S II₄ 层)。

二、砂体规模的地质模型

这一级别的地质模型以沉积类型砂体为单元, 描述其几何形态, 砂体内孔隙度、渗透率

所引起的平面非均质性，即对单个砂岩体规模整体宏观研究。这种类型的砂体模型按某种规律叠置就是油田规模的地质模型。

大体需要描述的内容有以下几个。

表 1.2 红岗油田隔层厚度统计表

层 位		隔层厚度, m			
		最大	最小	一般	平均
SI—SI		27.0	1.4	8.2~15.4	12.4
SI	1—2	6.0	0.2	1.0~2.6	1.4
	2—3	11.4	0.4	0.6~1.8	1.2
SI	0—1	4.4	1.6	2.2~3.2	2.8
	1—2	1.8	0.2	0.6~1.2	0.9
	2—3	4.4	0.8	2.0~2.8	2.2
	3—4	3.0	0.4	1.0~2.6	1.5
	4—5	4.4	0.4	0.8~2.0	1.4
	5—6	4.2	0.4	0.8~1.8	1.3
	6—7	4.2	0.4	0.6~1.8	1.4
	7—8	1.8	0.2	0.6~1.2	0.8
	8—9	6.0	2.4	2.6~4.0	3.5
	9—10	4.4	0.4	0.8~2.0	1.6
	10—11	3.8	0.2	0.6~2.2	1.5
	11—12	5.4	0.2	0.8~2.0	1.3
	12—13	5.8	0.4	0.8~2.0	1.4
	13—14	3.8	0.4	0.8~2.4	1.5
	14—15	3.4	0.4	1.0~2.0	1.5
	15—16	3.2	0.4	1.0~2.2	1.8

1. 砂体的几何形态

砂体几何形态的地质描述一般以长宽比分类。

1) 席状砂体：长宽比近于 1 : 1，平面呈等轴状；2) 土豆状砂体：长宽比 < 3 : 1；3) 条带状砂体：长宽比 > 3 : 1、≤ 20 : 1；4) 鞋带状砂体：长宽比 > 20 : 1。

2. 砂体的各向连续性

砂体的几何形态是砂体各向大小的相对反映，而决定井网型式和密度的关键因素则是各向连续性的实际大小，一般是研究侧向连续性（即砂体短轴方向的连续性）。通常可由以下几个参数表示：1) 砂体实际延伸长度（或宽度）；2) 对于已有一定密度的井网，可以相对既定（或预定）井距之比表示，即砂体宽度/井距；3) 用已定密度井网的控制程度（百分率）表示。

这里剖析红岗油田两个小层，描述其砂岩体特征。

(1) SI₂ 油层砂岩体

1) 砂体形态与规模：此小层砂岩由一个大砂岩体构成，呈大面积连片席状分布，其面积

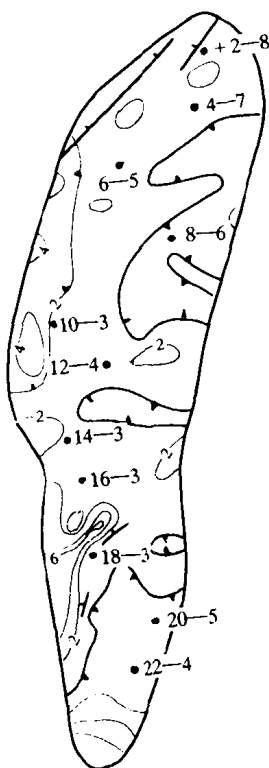


图 1.5 S₁₂ 小层砂岩等厚图

在油田叠合含油面积内占 80% 以上。砂体贯穿油田南北, 达 16km 之多, 宽也大于 3km, 规模大, 见图 1.5。从图上也可以看到, 本砂岩在油田西边缘, 砂层较厚, 在红 41 井、红 40 井、红 49 井呈现出由北向南三个地方的厚度较厚, 最厚达 5m 以上, 砂体向东渐薄, 有的地方尖灭。在沉积作用分析中, 认为在西边缘是三个河口砂坝。

2) 各向连续性: 既定井距之比 (砂体宽度与井距之比) 为 10 以上, 说明连续性很好。井网控制储量程度很高。井距 600m 时, 水驱控制储量程度就已高达 90% 以上。研究表明, 当砂体达到 1000m 以上级别规模时, 决定开发注采井网中连续性已不是主要的制约因素了, 对于象 S₁₂ 这样的大规模砂体来说, 连续性对井网密度已不成问题。

3) 砂体的渗透率、孔隙度在平面上的变化: 利用电测解释成果, 绘制 S₁₂ 砂体渗透率等值图, 见图 1.6。从图上可见, 渗透率在平面上变化有一定规律性, 油田西边缘渗透率较高, 特别是三个河口砂坝部位, 一般在 $(50 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 向东变小。反映了向物源方向变大的趋势。渗透率在平面上变化很大, 高的在 $200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上, 低的小于 $25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

孔隙度变化应与渗透率基本一致, 因二者是对数线性关系。

(2) S₁₄¹ 小层砂体

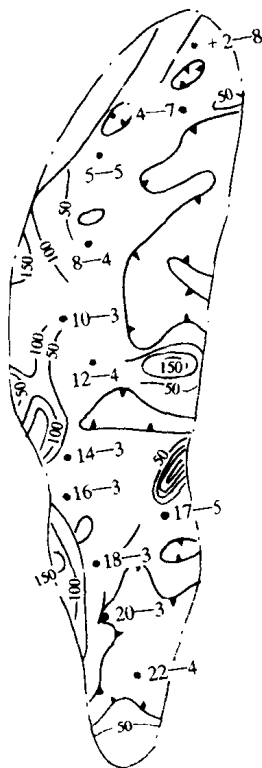


图 1.6 S₁₂ 小层空气渗透率等值图

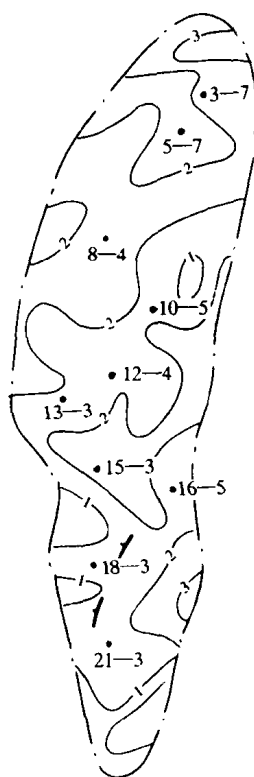


图 1.7 S₁₄¹ 小层砂岩等厚图

1) 砂体形态与规模: 此小层由三角洲前缘席状砂体构成, 呈大面积连片分布, 是红岗油田的主力油层, 砂体分布在油田内几乎占据全部叠合含油面积, 由此可见砂体规模之大。砂岩厚度一般在 2m 左右, 可见砂层分布非常稳定 (见图 1.7)。

2) 各向连续性: 既定井距之比大于 10, 砂体规模较 S_{12} 还大, 可见连续性很好, 对于注采井网密度已不成制约因素。

3) 渗透率、孔隙度在平面上的变化: 渗透率在平面上无明显规律性, 在平面上大多数地方渗透率较高, 可达 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 左右, 无明显方向性 (见图 1.8)。

孔隙度变化应与渗透率变化基本一致。

综合其它各小层平面渗透率等值图来看, 其结论是渗透率 (包括孔隙度) 在平面上变化有一定规律性, 与沉积环境相关。

本油藏大多数小层均呈连片席状砂分布, 反映了湖相沉积特征, 不一一举例。

三、层内规模的地质模型

这一级别的模型是描述各类砂体的层内部垂向上的储层非均质性, 也可合并到砂体内成为三维参数分布的模型。单砂层内垂向上的非均质性是直接控制和影响其垂向上注入剂波及体积的关键地质因素。

从油藏工程角度分析储层层内非均质性主要指两大方面: 1) 层内最高渗透率段所处位置, 即处在底部、顶部或中部以及层内各段间渗透率的差异程度; 2) 一个单砂层规模的宏观垂直渗透率和水平渗透率比值是决定流体垂向串流的重要因素。这两方面内容的表现又受控于很多地质特征, 从储层地质和储层沉积学角度应重点研究以下内容。

这里仍以红岗油田为例来建立层内规模的地质模型, 但红岗油田储层很薄, 层内非均质性已不是影响油田开发的主要矛盾。

1. 粒度层序

萨尔图油层粒度中值为 0.08mm 左右, 为细砂岩。所谓粒度层序, 即一个砂层内部碎屑颗粒粒度大小在垂向上的变化, 称为粒度韵律性。它直接影响层内垂向上渗透率的非均质性。向上变细者称正韵律, 向上变粗者称反韵律, 反复变化者称复合韵律。

红岗油田基本有两种韵律, 一种是反韵律, 另一种是复合韵律。因为粒度与渗透率呈线性关系, 所以渗透率大小间接反映了粒度的大小。从图 1.9 和图 1.10 可以基本上看到这种韵律状况。

2. 沉积构造的垂向演变

各种层理类型是碎屑岩的主要沉积构造。它影响着水平和垂直渗透率。

红岗油田储层的主要层理是水平层理, 其次是波状层理和斜层理。

3. 层内不稳定薄泥质夹层的分布

该因素是影响单砂层从顶到底宏观规模的垂直与水平渗透率比值的关键因素。

红岗油田粉砂质泥质夹层 (条带) 较发育。比如在计算地质储量时, 用电性标准解释的

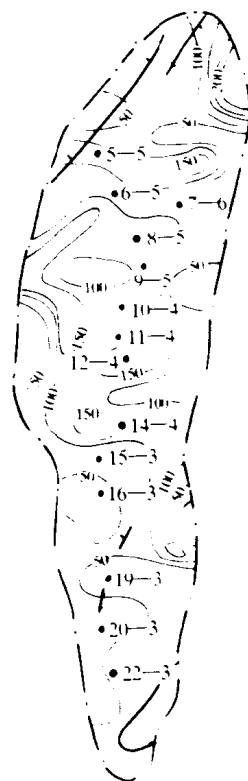


图 1.8 S_{12} 小层空气渗透率等值图