

东辛复杂断块油藏

中国油藏开发模式丛书

复杂断块油藏

东辛复杂断块油藏

THE HIGHLY FAULTED
OIL FIELD IN DONGXIN

程世铭 张福仁 等编著

(北京)

47

2

石油工业出版社

登录号	138771
分类号	TE347
种次号	002

中国油藏开发模式丛书

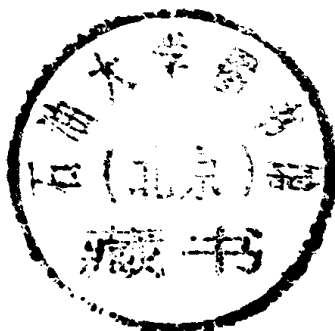
Series on Reservoir Development Models in China

· 复杂断块油藏 ·

东辛复杂断块油藏

The Highly Faulted Oilfield in Dongxin

程世铭 张福仁 等编著



石油大学0142119

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“复杂断块油藏”的典型实例之一。

本书以胜利油田东辛复杂断块油藏为实例,运用近30年油田详探开发所积累的丰富资料,采用了油田地质构造与断裂系统描述技术、室内物理实验、油藏工程分析、四种主要的断块油藏类型数值模拟等手段,从复杂断块油田地质涵意、构造与断裂系统之间的关联和影响、继承性断裂活动对油气运移、散聚作用影响及油气富集特点、复杂断块油田的早期识别、油气富集区详探开发工作程序、不同类型断块油藏开采特征、开发政策及优化部署对策等方面,较全面地论述了复杂断块油田基本地质特征、高效率的详探开发方法、建立起了一套适应多种类型断块油藏特点的开发策略和方法,以及与之配套的钻采工艺技术系列,为国内此类油田的详探开发建立了科学模式。

本书可供石油地质勘探、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

东辛复杂断块油藏/程世铭等编著.

北京:石油工业出版社,1997.5

(中国油藏开发模式丛书·复杂断块油藏)

ISBN 7-5021-1991-4

I. 东…

II. 程…

III. 复杂油气藏:断块油气藏-油田开发

IV. TE347

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 08084 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 14.25 印张 365 千字 印 1—3500

1997 年 2 月北京第 1 版 1997 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1991-4/TE·1675

精装定价:50.00 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

在我国陆相沉积盆地中,复杂断块油田是地质条件极为复杂的一类油田。我国的渤海湾、中原、江苏等地区已有相当数量的这类油田相继投入开发,在勘探、开发部署和工艺技术对策方面已积累了许多实践经验。但是,还没有摆脱具体的复杂断块油田勘探开发的局限性,也没有建立起模式化的科学指导,因而在考虑处理问题时,对油气富集区的详探与开发之间的特殊关系,以及在此过程中可能出现的问题缺乏整体的认识和预见性,采用的有些工艺技术还缺乏有效性。因此,为了增强复杂断块油田勘探开发决策工作的科学性和预见性,优化详探开发部署,改善开发效果,提高开发经济效益,形成有针对性的详探开发程序和工艺技术,研究建立复杂断块油田的勘探开发模式,具有十分重要的意义。

本书依据胜利东辛复杂断块油田的勘探、开发实践,参考国内专家学者有关此类油田最新研究成果,以有关构造地质、油田地质、油田开发等理论为指导,围绕复杂断块油田的整体解剖二级构造带、划分断块区、油气富集区的详探开发程序、不同类型断块油藏地质特点与开采特征等重要问题,建立起复杂断块油田所特有的勘探开发方法、详探开发油气富集区的“整体部署、分批实施、及时调整、逐步完善”的钻井程序,以及多类型断块油藏的“区别对待、因类而异”的开发策略和技术界限,追求最佳效益的复杂断块油田详探开发模式和工艺处理技术。

书中介绍了东辛复杂断块油田构造断裂系统与主要地质特征,以及勘探历程和开发历程,在断块油藏分类基础上,采用了不同的开发策略和技术政策界限,并对四种主要断块油藏类型的典型断块进行了油藏描述和开发全过程的描述,建立了三维定量地质模型;运用油藏开发数值模拟技术优化开发部署,包括井网、层系、开发方式、注水时机、注水方式、开采方式、技术政策界限、钻采工艺技术等对策。

本书是在程世铭组织下编写的,全书共分四章。参加编写的人员有:第一章程世铭、朱理珊;第二章程世铭;第三章程世铭、盖晨光;第四章张福仁、郝敬贤、王晓杰。全书的最后修改,定稿由程世铭完成。

在本书的资料收集、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;尤其是得到了中国石油天然气总公司咨询中心王平的指导和帮助,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!

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,诚恳地希望读者给予指正。

目 录

前言

第一章 复杂断块油田地质特征及分类	(1)
第一节 复杂断块油田基本地质特征.....	(1)
一、地质概念.....	(1)
二、地质构造格局.....	(1)
三、基本地质特点.....	(3)
第二节 断裂活动对复杂断块油田的形成及油气移聚的影响	(11)
一、主断裂长期继承性活动控制了复杂断块油田的演化	(11)
二、油气富集特点	(18)
第三节 东辛油田地震勘探发展历程	(29)
一、1960—1966 年“5.1”型地震普查、详探阶段	(29)
二、1966—1969 年地震精查阶段	(30)
三、1975 年应用数字地震仪作多次覆盖工作发现深部构造	(31)
四、1982—1991 年二维数字及三维开发地震应用阶段	(31)
第四节 复杂断块油田勘探开发程序	(33)
一、初探	(33)
二、整体解剖二级构造带、迅速找出富集区	(33)
三、详探富集区、查明主力含油断块	(40)
四、建立初期开发系统	(48)
五、综合研究、调整挖潜、深化勘探、搞好接替	(48)
第五节 东辛油田油藏分类状况	(56)
第六节 油藏分类内容与基本特点	(56)
一、油藏分类内容	(56)
二、几种主要类型断块油藏的地质与开采特点	(59)
第二章 复杂断块油田开发基本策略	(62)
第一节 东辛油田不同类型油藏开发主要做法与效果	(62)
一、强边水驱稀油高渗透断块油藏，应不失时机地实施高速开采	(62)
二、封闭、半封闭的多油组断块油藏，必须实施早期注水及边缘注水 搞好层间接替与井间接替	(69)
三、“顶密边稀”是断块油藏井网加密调整的主要形式，有利于对储 量的有效控制和提高开发效果	(78)
四、应用定向井技术、努力改善多油组条带形断块油藏的开发效果	(79)
五、合理利用异常高压、深层、中低渗透岩性油藏的弹性能量，适时注 水，提高开发效果	(83)
六、大面积、多油组、多油水系统高粘度的稠油断块油藏，进行细分层系注水是提高开	

发效果的根本途径	(88)
第二节 复杂断块油田开发基本策略	(93)
一、断块油藏含油层系的划分与组合	(93)
二、井网布置	(97)
三、开采方式及能量利用	(99)
四、注水时机与注水方式	(100)
五、采油速度与稳产	(101)
六、采收率	(113)
第三章 开采阶段划分及优化部署	(120)
第一节 开采阶段的划分方法	(120)
一、童氏油藏开采阶段划分模式	(120)
二、断块油藏开采阶段划分标准	(120)
三、断块油藏各阶段开采特征	(121)
第二节 开采过程的调整	(124)
一、双管分采简化层系井网、发挥油藏产能潜力	(124)
二、对具有反向“屋脊式”断块油藏在开发过程中的调整要重视以下三种基本做法	(125)
三、合理利用天然能量，掌握异常高压岩性油藏适时转注时机	(125)
第三节 产能建设发展基本特点	(126)
一、具有相对的长期性和逐步发展特点	(126)
二、构造油田在产能建设发展中的开发整体性、同步性与稳定性，与复杂断块油田开发进程的不同步、不平衡性形成鲜明的对照	(127)
第四节 产量接替发展的基本方式与途径	(133)
第五节 断块油藏数值模拟基本设想	(134)
一、油藏数值模拟的构想	(135)
二、典型断块油藏选定依据及条件	(135)
三、地质模型的建立	(135)
四、历史拟合与方案预测要求	(136)
第六节 典型断块油藏数值模拟及优化开发部署	(137)
一、典型断块油藏地质特点及开发过程描述	(137)
二、油藏历史拟合状况	(138)
三、典型断块油藏数值模拟预测方案结果评价及优化部署	(140)
第四章 复杂断块油藏开采的工艺技术	(145)
第一节 采油工艺的多样性	(145)
一、复杂断块系统决定了相应工艺的多样性	(145)
二、多样性工艺技术	(145)
第二节 定向斜井的配套工艺技术	(148)
一、定向斜井的完井工艺技术	(148)
二、定向斜井的采油工艺技术	(158)
三、定向斜井的注水工艺技术	(170)

第三节 套管内侧钻工艺技术·····	(176)
一、侧钻技术的必要性·····	(176)
二、侧钻井选井条件及要求·····	(176)
三、侧钻井工艺程序及主要技术指标·····	(176)
四、侧钻工艺开采效果及经济效益·····	(178)
第四节 分层采油工艺技术·····	(180)
一、单管分层采油工艺技术·····	(180)
二、双管采油工艺技术·····	(184)
第五节 小泵深抽工艺技术·····	(187)
一、小泵深抽的技术规定·····	(188)
二、小泵深抽的设计·····	(189)
三、小泵深抽的配套工艺·····	(189)
四、应用效果·····	(191)
第六节 高压注水工艺技术·····	(192)
一、高压注水四项工艺技术·····	(192)
二、注水工艺技术先进、注水开发效果明显·····	(196)
第七节 油层改造工艺技术·····	(196)
一、油层压裂·····	(196)
二、油层酸化·····	(204)
第八节 水力振荡解堵工艺技术·····	(210)
一、水力振荡工艺原理及适用范围·····	(210)
二、应用效果及经济效益·····	(212)
三、工艺影响因素及分析·····	(215)
四、结论·····	(215)
参考文献·····	(217)

第一章 复杂断块油田地质特征及分类

复杂断块油田是一类比较特殊的油田。在我国的断块盆地含油气区中占有相当的份量。我国的东部渤海湾地区，中原东濮油区、江汉地区以及苏北油区等都有此类油田分布，且数量较多，具有普遍性。这些地区由于长期继承性的断裂活动，形成了复杂的断裂系统及不同的组合形式，把油田切割成众多大小不一的断块，而这些断块含油气状况及富集程度往往具有不同特点和显著的差别，这无疑给地质勘探、开发带来了很大的困难。

根据以前的实践经验，较全面地论述，总结此类油田的基本地质特征，以及在勘探阶段如何早期判别复杂断块油田，并针对其地质特点制定出一套合理而有效的详探开发程序，是很重要的。

第一节 复杂断块油田基本地质特征

一、地质概念

以前，对复杂断块油田地质概念有各种各样的解释，但不够系统明确。近几年来，经有关专家、科技人员讨论研究后认为，复杂断块油田地质概念应从以下三层意思去理解，并作为衡量判别的标准。

1) 首先明确什么是断块油藏，它是指油层上倾方向被断层遮挡形成圈闭的油藏，简称为断块油藏。它是构成断块油田的基本单元。

2) 断块油田。简单地说，以断块油藏为主的油田称为断块油田。它是在一定构造背景基础上受构造成因控制作用的断块油藏集合群体。

3) 衡量判别复杂断块油田的标准。经分析研究认为：若含油面积小于 1km^2 的断块油藏的地质储量占油田总储量一半以上的断块油田，称为复杂断块油田。

二、地质构造格局

复杂断块油田多分布在块断盆地含油气区次一级凹陷的中央隆起带或斜坡带上。由于受强烈长期继承性断裂活动作用而形成复杂断块油田。

东辛油田位于济阳坳陷东营凹陷中央隆起带中段。其领域东西长约 28km 、南北跨度为 7.7km ，目前已探明含油面积 85km^2 ，地质储量约 $1.3 \times 10^8\text{t}$ （未复算）。该油田东部是辛镇长轴背斜构造，西部为东营穹隆背斜，两构造之间以鞍部相连接（图 1.1）。油田形成过程中具有边隆边断的特点，故发育了数百条多种级别大小不同的断层，使油田复杂化。断裂系统发育受构造形态影响有一定规律性。

随着油田详探井开发实践与综合地质研究的逐步深入，愈来愈认识到，油田主断裂系统分布发育的方向性与构造形态有关，有明显的规律性。东辛油田东部以辛镇东西走向的长轴背斜构造为背景，其南北两翼各有一组与构造轴向平行的正断层。构造北翼一组断层皆南倾，由北而南向轴部阶段下掉，而构造南翼一组断层皆北倾，由南往北向轴部阶段下掉，使得辛

镇构造形成了近似对称式的地堑。由此而形成了一系列反向屋脊式条带形断块油藏。该油田西部是以东营穹隆背斜构造为背景，断裂系统以北东向、北西向两组正断层为主。构造顶部为中央塌陷区，形成许多封闭型断块。其北、西、南翼则形成一系列开启型的大小不等的断块油藏，北翼、西南翼与洼陷相连。连接两构造之间为鞍部地区，由于受两侧不同方向构造引力作用形成断裂复杂的破碎带，多为面积较小封闭的断块油藏（见图 1.2）。

三、基本地质特点

大型构造油田是以构造因素为主控制了油气运移和聚集，基本上可以用统一的油藏概念来圈定其含油范围与面积。复杂断块油田则不同，由于受到复杂断裂系统的控制与影响，产生了众多相互独立的断块油藏，而且在油藏类型、含油层系发育状况与油气富集程度、天然驱动类型与能量、油藏性质与产能等方面，相互间表现为明显不同或差别。概括起来有以下特点：

1) 主断裂控制下的由多种级别断层构成的复杂断裂系统，把油田分割成众多相互独立的断块油藏群体。

东辛油田至 1990 年底已完钻的 1156 口井中，有 93.7% 的井钻遇断点，断点数共 3031 个。钻遇断点最多的是辛 15 井有 7 个。结合地震资料油田共组合成二级至四级断层 252 条。其中二级断层 4 条，三级断层 52 条，四级断层 196 条（见表 1.1）。

表 1.1 东辛油田断层主要参数表

级 别	断 层 数	走 向	倾 向	断 距 m	长 度 km	作 用
二级	4	东西	南北	200~600	5~10	边界
三级	52	东西、南北	南北	100~200	0.5~3.0	断块区
四级	196	北东、南西		30~80	<1.0	复杂化

大小不一、纵横交错的断层把油田分割成 195 个断块，其中含油断块 128 个。断块含油面积大于 1km^2 的有 24 个，储量占油田总储量的 49.4%； $0.5\sim 1.0\text{km}^2$ 的有 27 个断块，储量占油田的 24.5%；小于 0.5km^2 的 77 个断块，储量占油田的 26.1%（表 1.2）。

表 1.2 东辛油田断块油藏含油面积分类表

分 类 标 准		断 块 数		储 量 ^①	
类 别	含油面积 km^2	数 个	份 额 %	值 $\times 10^4\text{t}$	占 油 田 %
大断块	>1.0	24	18.8	6440	49.4
中断块	$0.5\sim 1.0$	27	21.1	3199	24.5
小断块	<0.5	77	60.1	3411	26.1
小 计		128		13050	

① 油田储量未复算。

就单个断块油藏来说，它们是复杂断块油田中独立的基本开发单元。

2) 含油层系多但储量集中，断块油藏之间含油气富集程度差异大，油水关系复杂。

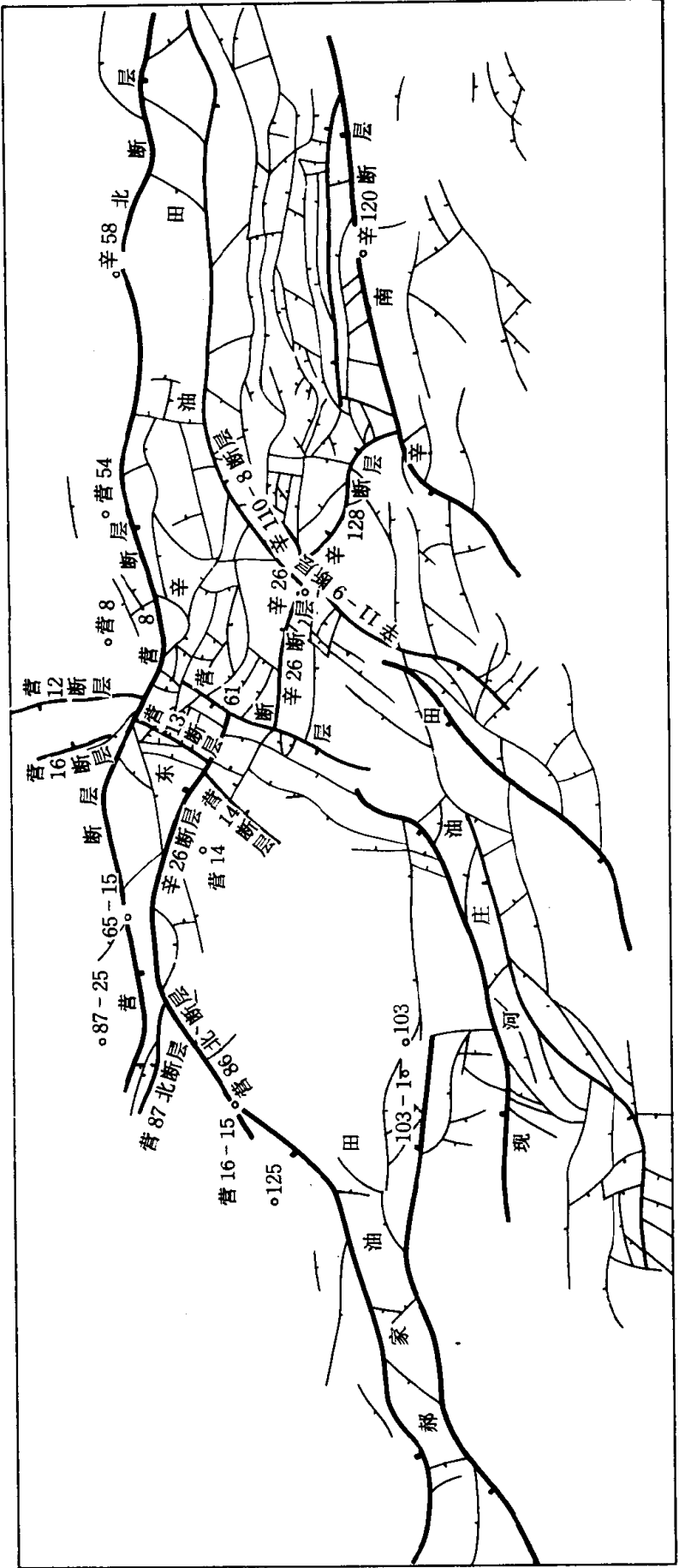


图 1.2 东营盆地中央隆起带断层系图

东辛油田第三系地层中目前共发现现有六套含油气层系：明化镇组浅气层，馆陶组、东营组、沙一段（S1）、沙二段（S2）及沙三（S3）上油层。其中沙二段油层在油田连片分布，是主力含油层系，储量约占油田总储量的 80%左右。

断块间含油层位不一致、含油贫富差异大是复杂断块油田重要特征之一。以断块油藏储量丰度加以比较，东辛油田平均丰度为 $160 \times 10^4 \text{t/km}^2$ 。但有的断块如营 14 因含油层系单一以沙一段为主，厚度小丰度仅 $40 \times 10^4 \text{t/km}^2$ ；而有的断块含油层系发育厚度大，如辛 47 断块沙二段储量丰度高达 $486 \times 10^4 \text{t/km}^2$ 。二者相差 12 倍之多。此外，相邻的断块油藏之间含油层系不一致，如东营构造北翼的营 8 断块主力含油层系是沙一段和沙二下油组多套含油层位，而与其相邻位于西侧的营 17 断块主力含油层位是沙二上油组。这种情况是相当普遍。

断块油藏各有独立的油水系统，油水关系复杂。同一断块各含油砂层组无统一的油水界面，甚至一个油砂体就有一个油水界面，有的断块油藏油水界面多达数十个，这种情况给开发和稳产带来很大困难（见图 1.3 和表 1.3）。

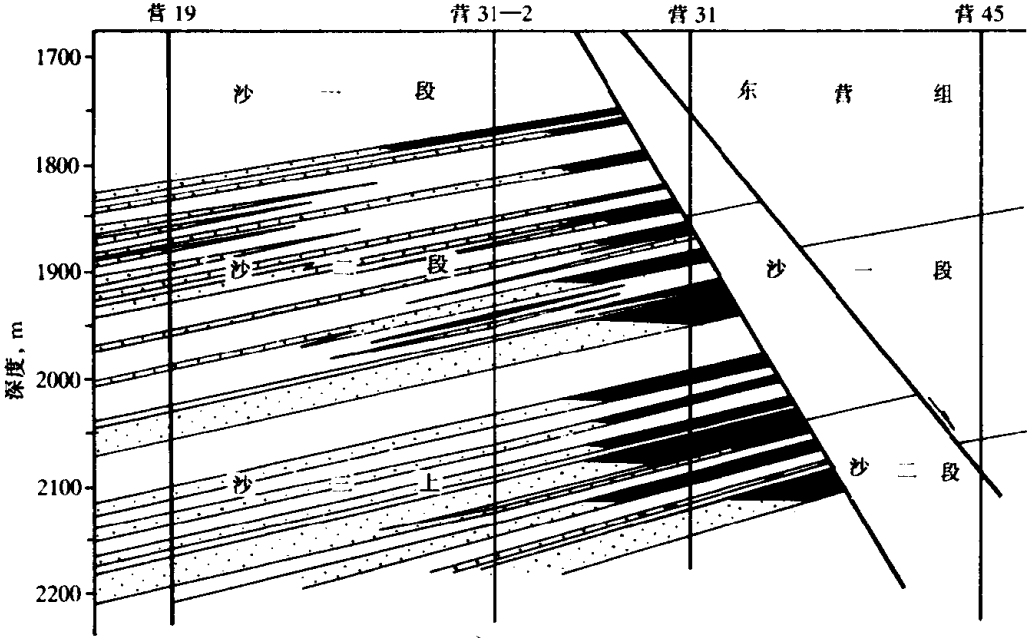


图 1.3 营 31 断块油水关系图

表 1.3 营 31 断块沙二段油水关系统计

层 位	砂 层 组	油 水 界 面 m	层 位	砂 层 组	油 水 界 面 m
沙 二 上	1	-1770	沙 二 下	8	-1925
	2	-1790		9	岩性
	3	-1815		10	-2015
	4	水		11	-2050
	5	水		12	-2090
	6	-1890		13	-2105
	7	-1935		14	-2140
				15	水

3) 储层物性、原油性质、油层产能差别大。

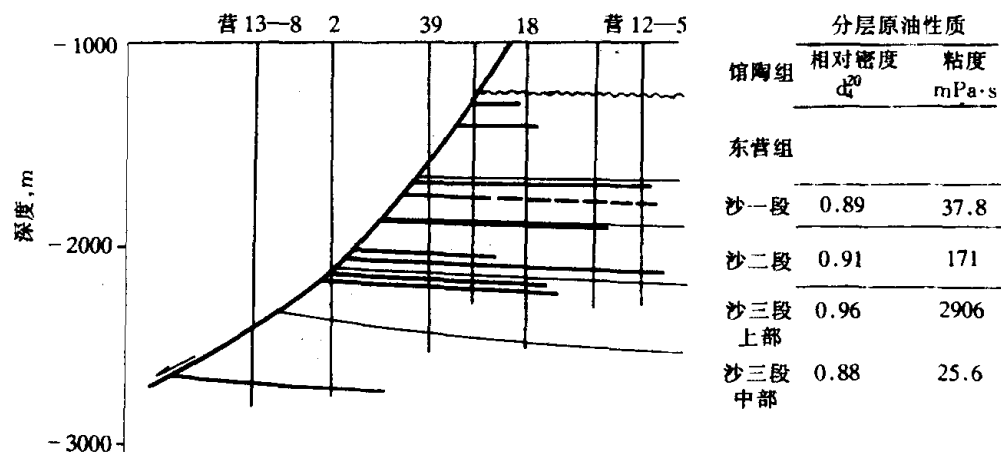


图 1.4 营 8 断块沙二下稠油油藏剖面及原油性质变化图

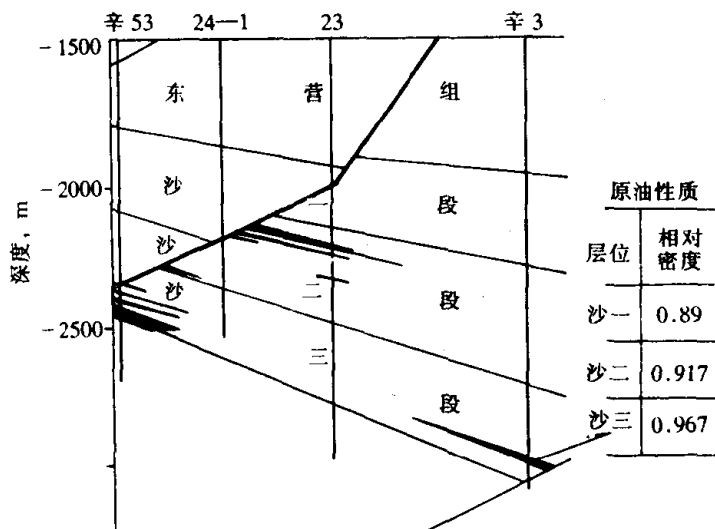


图 1.5 辛 3 井沙三段油藏剖面及原油性质变化图

东辛油田主力含油层系沙二段储层以中、高渗透为主，但层间渗透性差别仍明显存在。据 23 口井 4754 块样品分析测定，油层空气渗透率在 $0.16 \sim 6.0 \mu\text{m}^2$ ，平均为 $1.2 \mu\text{m}^2$ 。东营组、沙一段以高渗透为主，沙三段油层渗透率底，一般为 $0.02 \mu\text{m}^2$ 左右。

东辛油田断块间、层系间原油性质变化较大，据统计地层原油粘度变化范围在 $1.8 \sim 63.2 \text{mPa}\cdot\text{s}$ ，地面原油粘度为 $15 \sim 4800 \text{mPa}\cdot\text{s}$ ；总的情况是馆陶和东营组油藏以高粘度稠油为主，沙一段与沙三段以低粘度稀油为主，而沙二段油藏稀油与稠油皆有（图 1.4，图 1.5）。

由于油藏的渗滤条件、原油性质存在着显著差异，故油层产能差别也很大。据东辛油田开发初期 189 个井层测试资料统计，比采油指数的变化范围在 $0.3 \sim 40 \text{t}/(\text{d}\cdot\text{m}\cdot\text{MPa})$ ，平均为 $4 \text{t}/(\text{d}\cdot\text{m}\cdot\text{MPa})$ 。鉴于比采油指数与流度之间有很好的线性规律，因此把油层产能分为以下五个级别（见表 1.4 及图 1.7）。

表 1.4 东辛油田产能、流度分级表

分 级	比采油指数 $\text{t}/(\text{d}\cdot\text{m}\cdot\text{MPa})$	流 度 $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2/\text{mPa}\cdot\text{s}$
特	>10	>150
甲	$4 \sim 10$	$60 \sim 150$
乙	$1.2 \sim 4$	$18 \sim 60$
丙	$0.4 \sim 1.2$	$6 \sim 18$
丁	<0.4	<6

注：K/ μ 中的 K 为有效渗透率。

4) 油藏类型多、天然驱动方式与能量差别大。

以油藏圈闭类型划分, 东辛油田有: 断块油藏、断层遮挡岩性油藏、岩性油藏、小型构造油藏四种基本类型 (图 1.6、图 1.7、图 1.8、图 1.9)。但构成复杂断块油田的主体是断块油藏, 而受断层切割控制的断块油藏由于断层的组合方式不同、油藏几何形态各异, 以及油藏与外界开启程度明显差别, 还可以根据其地质特点和动态特征进一步分类, 如强边水驱、半封闭、封闭型断块油藏等等。此外就油藏性质而论, 还有高饱和与低饱和压力油藏之分, 还有异常高压岩性油藏等不一而足。

油层渗滤条件与原油性质通常是影响油藏天然驱动方式和能量状况的重要因素。对断块油藏来说,还因受制于切割遮挡的断层组合形式不同的影响,使它们与外界连通状况及开启程度各异,造成各断块油藏之间的天然驱动方式和能量有显著差别。从东辛油田开发初期各断块油藏的采出程度与地层总压降关系来看,按天然能量大小大致可分为以下三类别。

- 1) 天然能量充足、稀油高渗透、开启型强边水驱断块油藏；
- 2) 有一定天然能量、以中高渗透中低粘度为主、半开启弱边水驱油藏；
- 3) 无边水封闭型纯弹性驱的断块油藏和高粘度稠油油藏。

综上所述,概括了东辛油田的地质特点,它不同程度地反映了复杂断块油田基本地质特点的

普遍性。当然,就东辛油田复杂程度来说,在同类油田中它还算是较为简单的复杂断块油田。

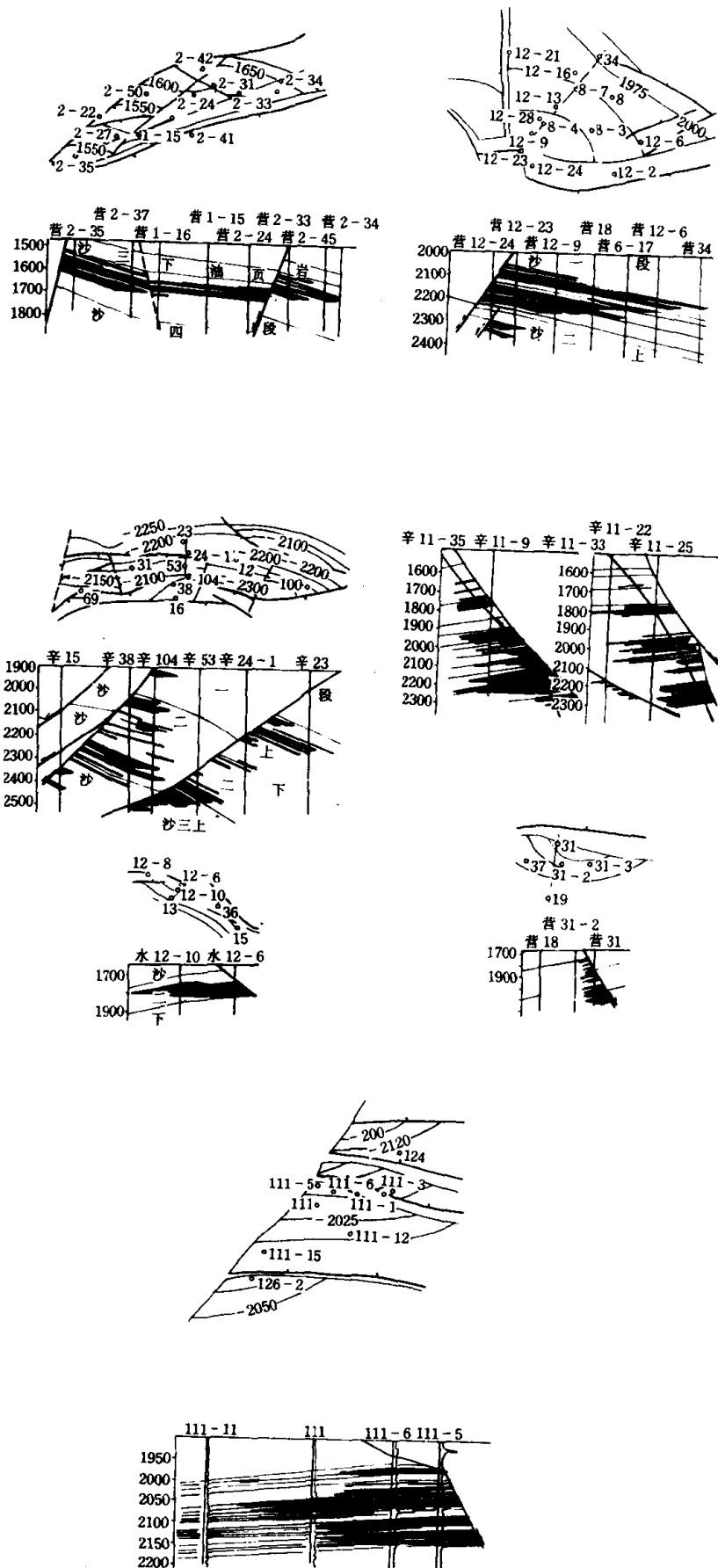


图 1.6 断层遮挡层状油藏