

东辛复杂断块油藏 剩余油富集特征及井网调整模式

REMAINING OIL ENRICHMENT CHARACTERISTIC AND WELL
ADJUSTMENT MODES IN DONGXIN COMPLEX FAULT BLOCK RESERVOIRS

牛栓文 张进平 黄爱先 路智勇 崔传智 等著

石油石化
学术文库

THE ACADEMIC LIBRARY
OF PETROLEUM AND
PETROCHEMICALS



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

东辛复杂断块油藏 剩余油富集特征及井网调整模式

REMAINING OIL ENRICHMENT CHARACTERISTIC AND WELL
ADJUSTMENT MODES IN DONGXIN COMPLEX FAULT BLOCK RESERVOIRS

牛栓文 张进平 黄爱先 路智勇 崔传智 等著

图书在版编目(CIP)数据

东辛复杂断块油藏剩余油富集特征及井网调整模式/
牛栓文等著. —东营: 中国石油大学出版社, 2014. 4

ISBN 978-7-5636-4389-9

I. ①东… II. ①牛… III. ①复杂地层—断块油气藏—
—剩余油—富集—研究②复杂地层—断块油气藏—剩余油
—井网调整—研究 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 074743 号

书 名: 东辛复杂断块油藏剩余油富集特征及井网调整模式
作 者: 牛栓文 张进平 黄爱先 路智勇 崔传智 等

责任编辑: 穆丽娜(电话 0532—86981531)

封面设计: 悟本设计

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@163.com

印 刷 者: 山东临沂新华印刷物流集团有限责任公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532, 86983437)

开 本: 185 mm × 260 mm 印张: 11 字数: 264 千字

版 次: 2014 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 68.00 元



东辛油田位于济阳拗陷东营凹陷中央隆起带东段,是一个构造复杂、储层非均质严重、油藏类型多样化的复杂断块油田。截止到 2012 年 12 月,探明含油面积 94.3 km^2 ,探明石油地质储量 $27\,779.6 \times 10^4 \text{ t}$,目前标定采收率 36.3%,采出程度 29.1%。

东辛油田经过 50 多年的勘探开发,目前已进入高含水期开发阶段,由于断块破碎、储层非均质严重、层间差异明显等储层特征,增加了剩余油认识和井网调整的难度。近年来,随着三维地震资料、钻井资料、开发生产资料的日益丰富,精细油藏描述技术和剩余油研究技术的发展,对东辛复杂断块油藏的认识经历了一个由浅到深的阶段,东辛油区的勘探开发也经历了从块间接替到井间接替、由井间接替到层间接替的过程,从而使东辛油区在一段时间内持续保持了高速高效开发。

对剩余油的认识是油田开发调整的基础,在剩余油认识基础上的井网调整是保持油藏稳产的重要措施之一。东辛油田近年来开展了一系列剩余油富集模式和井网调整模式的研究和应用,取得了较好的效果。因此,系统总结东辛油田复杂断块油藏剩余油富集特征和井网调整模式,对今后更好地指导此类油藏的开发具有重要的现实意义。

本书共分七章。油藏地质特征是剩余油分析和开发调整的基础,第一章系统介绍了东辛复杂断块油藏的地质特征以及开发特征,断块油藏复杂的地质特征决定了其剩余油控制因素多;第二章对断块油藏剩余油的控制因素进行了分类,总结了各种因素对剩余油的控制作用;第三章从断块油藏的构造、断层、夹层、储层物性、开发等主控因素出发,系统总结了剩余油的富集模式及剩余油变化规律;第四章对剩余油的富集规模进行了定量描述;第五章总结了断块油藏井网的控制因素;第六章分析了高含水期四种典型断块油藏的井网调整模式;第七章介绍了剩余油及井网调整模式在东辛油田的应用效果。

本书的作者都是长期从事断块油藏开发的专家学者,第一章由张进平、陈红阳、孟凡圣、刘斌编写,第二章由路智勇、庞丽丽、卢惠东、李磊编写,第三章由牛栓文、陈剑波、庞丽丽、刘斌、孟凡圣编写,第四章由崔传智、魏进峰、张艳增、李晓军、邱永坚、宋志超编写,第五章由牛栓文、路智勇、崔传智、贾祥军、李磊编写,第六章由牛栓文、张进平、魏进峰、梁颖、刘云兰编

写,第七章由黄爱先、梁颖、潘扬庆、卢惠东、杨侃编写。全书由牛栓文、路智勇、崔传智统稿。在本书的编写和出版过程中,得到了东辛采油厂有关领导、专家和同志的大力支持,在此表示衷心的感谢。

本书的出版得到了国家科技重大专项“胜利油田特高含水期提高采收率技术(编号:2011ZX05011)”的资助,在此表示感谢。

由于笔者水平有限,书中的某些论点和认识难免有错误和不当之处,恳请读者给予批评指正。

作 者
2014年3月



第一章 东辛复杂断块油藏类型及井网特征	1
第一节 东辛复杂断块油藏地质特征	1
第二节 东辛复杂断块油藏类型	3
第三节 东辛复杂断块油藏井网特征	4
第二章 东辛复杂断块油藏剩余油控制因素及储层模式	13
第一节 断块油藏剩余油描述技术	13
第二节 复杂断块油藏剩余油控制因素	16
第三节 复杂断块油藏储层模式	19
第三章 断块油藏剩余油富集模式及富集规律	25
第一节 构造控制的剩余油富集模式及规律	25
第二节 断层控制的剩余油富集模式及规律	33
第三节 夹层控制的剩余油富集模式及规律	51
第四节 储层物性控制的剩余油富集模式及规律	59
第五节 开发控制的剩余油富集模式及规律	65
第四章 复杂断块油藏剩余油富集的定量描述	81
第一节 屋脊断块油藏剩余油富集的定量表征	82
第二节 弧形开启断块油藏剩余油富集的定量表征	91
第三节 扇形开启断块油藏剩余油富集的定量表征	98
第四节 封闭四边形断块油藏剩余油富集的定量表征	105
第五章 断块油藏井网影响因素及井网模式	114
第一节 断块形态对井网的影响	114

第二节 地层倾角对井网的影响119

第三节 储层物性和流体性质对井网的影响123

第四节 含油条带宽度对井网的影响123

第五节 边水强弱对井网的影响124

第六章 典型断块油藏井网调整模式.....126

第一节 窄屋脊断块油藏顶密边稀、人工边水井网优化模式126

第二节 简单断块层系重组、稀密结合井网优化模式130

第三节 复杂断块矢量切割、注采耦合井网优化模式139

第四节 极复杂断块跨块组合、分段接替井网优化模式142

第七章 基于剩余油富集及井网调整模式的挖潜及推广应用效果.....145

第一节 基于剩余油富集模式的挖潜及推广应用效果.....145

第二节 基于井网调整模式的挖潜及推广应用效果152

参考文献.....170



第一章

东辛复杂断块油藏类型及 井网特征

东辛油田位于济阳坳陷东营凹陷中央隆起带东段,是一个构造复杂、储层非均质严重、油藏类型多样化的复杂断块油田。自 1961 年勘探发现起,1968 年投入全面开发,1971 年投入注水开发,截止到 2012 年 12 月,东辛油田探明含油面积 94.3 km^2 ,探明石油地质储量 $27\,779.6 \times 10^4 \text{ t}$ 。

第一节 东辛复杂断块油藏地质特征

东辛油田地质构造异常复杂,全区 200 多条断层将油田切割成近 300 个小断块,含油层系多,沉积类型多样,平面及纵向非均质严重。

一、油藏特征

东辛复杂断块油藏具有中国陆上断陷油气藏的典型特征:一是断层发育,构造复杂,断块多,含油面积小;二是油气富集程度差异大,含油层系多,含油井段长,油水关系复杂;三是储层物性好,以中高渗透为主,但层间差异大;四是原油性质以中低黏度为主,夹有部分稠油。

1. 断层发育,构造复杂,断块多,含油面积小

复杂断块油田构造的主要特点就是其内部断层极其发育,形成众多的小油气藏。东辛油田被众多断层切割,形成许多小断块。在一定的构造范围内断层越多,则单个断块面积就必然越小。统计东辛油田 289 个断块,其中含油面积大于 1.0 km^2 的有 14 个,其储量占 34.1%;面积为 $0.5 \sim 1.0 \text{ km}^2$ 的有 30 个,其储量占 23.9%;含油面积为 $0.1 \sim 0.5 \text{ km}^2$ 的有 101 个,其储量占 32.7%;含油面积小于 0.1 km^2 的有 144 个,其储量占 9.3% (表 1-1)。

2. 油气富集程度差异大,含油层系多,含油井段长,油水关系复杂

断块油藏普遍具有纵向上含油井段长、含油小层多的特点,且各小层层间物性差异大,层间非均质性较强。

东辛油田第三系地层中目前共发现六套含油层系:明化镇组浅气层、馆陶组、东营组、

表 1-1 东辛油田断块油藏含油面积分类表

项 目	含油面积 /km ²							
	<0.1		0.1~0.5		0.5~1.0		>1.0	
	断块数	比例/%	断块数	比例/%	断块数	比例/%	断块数	比例/%
断块数/个	144	49.8	101	34.9	30	10.4	14	4.8
地质储量/(10 ⁴ t)	2 470	9.3	8 673	32.7	6 346	23.9	9 060	34.1

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%。例如,永 3-1 断块沙二 7~9 砂组纵向上划分 28 个小层,含油小层 22 个。

断块间含油层位不一致、含油贫富差异大是复杂断块油田的重要特征之一。以断块油藏储量丰度加以比较,东辛油田平均丰度为 $160 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ 。有的断块含油层系单一,例如营 14 断块含油层系以沙一段为主,厚度小,丰度仅为 $40 \times 10^4 \text{ t/km}^2$;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 $486 \times 10^4 \text{ t/km}^2$,后者是前者的 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的。

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,这给开发带来很大困难。

3. 储层物性和原油性质差别大

复杂断块油田原油性质纵、横向变化比整装油田更剧烈、更不规则。这主要是由于大量的断层活动引起的油气运移和多次聚散再分配,致使油气在运移过程中产生氧化、吸附和分异作用。不同运移介质条件的作用不同,加上断块、圈闭内储层条件和封闭情况不同,在不同情况下使原油性质发生较大幅度不规则的变化。东辛油田较轻的原油相对密度只有 0.84,地面原油黏度小于 $10 \text{ mPa}\cdot\text{s}$,地层黏度只有 $2\sim 4 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ (动力黏度);而较重的脱气原油相对密度在 0.98 以上,个别接近 1.0,地面原油黏度为 $4\,000\sim 10\,000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。

原油性质在各层系、各砂组甚至不同小层上变化较大上。例如,营 8 断块沙二下 7~9 砂组油藏油质很稠,而在它上面的沙一段第一砂组油质很轻,脱气原油相对密度只有 0.88,地面黏度只有 $24 \text{ mPa}\cdot\text{s}$;在 7~9 砂组油藏下面的沙二下 12~15 砂组油质也较轻,脱气原油相对密度为 0.92,地面黏度为 $360 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。平面上表现为构造高部位油质好而构造边部油质差的变化特点。例如,营 8 断块沙二下 7~9 砂层组高部位脱气原油相对密度为 0.93,地面黏度为 $400 \text{ mPa}\cdot\text{s}$;在距高点 1 km 处的油藏腰部,构造高度仅降低了 50 m,而脱气原油相对密度上升到 0.95,地面黏度达 $2\,000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$;再向外 1 km 左右至油水边界,构造高度再降低 50 m 左右,脱气原油相对密度高达 0.98,地面黏度在 $4\,000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 以上。

东辛复杂断块油田储层物性好,以中高渗透为主,根据 23 口井 4 754 块样品的分析测定结果,孔隙度为 26%~31%,空气渗透率为 $(160\sim 6\,000) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $1\,200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平面级差为 2~15 倍,纵向级差为 2~30 倍,渗透率变异系数为 0.64~0.75。

第二节 东辛复杂断块油藏类型

一、断块油藏的分类

断块油藏的分类方法通常有以下三种。

1. 根据断块含油面积大小分类

断块油藏根据其含油面积大小可分为五个级别,即大断块油藏、较大断块油藏、中断块油藏、小断块油藏、碎块油藏。断块油藏按含油面积大小划分为五个级别的标准如下:

- (1) 大断块油藏,含油面积 $> 1.0 \text{ km}^2$ 。
- (2) 较大断块油藏, $0.4 \text{ km}^2 < \text{含油面积} \leq 1.0 \text{ km}^2$ 。
- (3) 中断块油藏, $0.2 \text{ km}^2 < \text{含油面积} \leq 0.4 \text{ km}^2$ 。
- (4) 小断块油藏, $0.1 \text{ km}^2 < \text{含油面积} \leq 0.2 \text{ km}^2$ 。
- (5) 碎块油藏,含油面积 $\leq 0.1 \text{ km}^2$ 。

2. 根据断块形态分类

根据断块形态及其特征进行分类,断块油藏概括起来可以分为四类:半圆形断块油藏、条带形断块油藏、三角形断块油藏和四边形断块油藏。

(1) 半圆形断块油藏:由一条主断层与地层形成的“正向屋脊”式(断层倾向与地层倾向一致)或“反向屋脊”式(断层倾向与地层倾向相反)构造油藏,构造相对简单,面积较大。这类油藏边水活跃,天然能量充足。

(2) 条带形断块油藏:由几条平行或近似平行断层夹持形成的断块油藏。这类油藏通常是由同期发育的雁行式或阶梯式断层将断块切割成条带状,或者是在地堑带不同倾向断层将断块切割成条带状而形成的。由于断层封闭作用,各条带为独立压力系统,天然能量不足。

(3) 三角形断块油藏:由两条断层同时切割断块形成的油藏。这类油藏的构造高点位于两断层交点附近,由于受两条断层控制,油藏含油面积较小,天然能量充足。

(4) 四边形断块油藏:由四条断层相交形成的断块油藏。由于断层封闭作用,断块内没有边水或边水很少,天然能量不足。

3. 根据油藏天然能量是否充足和开发方式分类

根据天然能量是否充足及开发方式,断块油藏可分为两大类:利用天然能量开发的断块油藏和采用注水开发的断块油藏。前者主要为边水、底水或边水活跃的油藏;后者主要为弱边水或封闭性油藏,根据注采井网完善程度和断层分布状况,后者可进一步划分为简单断块油藏、复杂断块油藏和极复杂断块油藏。

(1) 边底水断块油藏:主要由单一弧形断层遮挡的开启型油藏。其特点是油层分布呈条带状;油藏边水或底水能量充足;油水关系复杂,含油条带宽度窄,油水过渡带宽;油藏开发过程中含水率上升快。

(2) 简单断块油藏:被两条以上断层遮挡且内部构造相对简单。其特点是油藏内部断层较少,单个断块含油面积一般大于 0.5 km^2 ,可形成规则井网以进行注水开发;油藏封闭或半封闭,边、底水能量较弱。

(3) 复杂断块油藏:被两条以上断层遮挡,内部低级序断层较发育。其特点是单个断块

含油面积一般为 $0.3 \sim 0.5 \text{ km}^2$ ，不能形成完善的井网，油藏封闭，天然能量较弱，地层压力下降快。

(4) 极复杂断块油藏：指断块内部低级序断层十分发育的油藏。其特点是断裂系统复杂，油层分布零散，单个小断块含油面积小于 0.1 km^2 ，油藏封闭，天然能量微弱，靠天然能量开采时地层压力急剧下降。

二、东辛断块油藏类型

东辛油田复杂断块油藏类型多，天然能量差别大。根据油田开发初期天然能量动态反映及地质特点，东辛油田复杂断块油藏可划分为以下三种类型：

(1) 强边水天然能量充足型断块油藏。这类油藏多分布在构造翼部，呈扇形或弧形开启（称扇形开启断块油藏、弧形开启断块油藏），与凹陷相连，有广阔的边水，边水体积为油体积的数十倍至上百倍。

(2) 有一定天然能量的半开启型断块油藏。这类油藏是以中高渗透率为主，原油黏度多为中等的低饱和油藏。半开启型油藏大多三面被断层切割遮挡，主要分布在东辛油田构造翼部的断裂复杂过渡带及地堑内部，压力下降较快，难以稳产。

(3) 天然能量很弱的断块油藏。这类油藏包括封闭型断块油藏、断块岩性油藏、高黏度稠油油藏和断裂破碎带零星小块，多无边水，或边水很弱，或稠油带影响边水能量的传递。这类油藏若不采取人工能量补给，则难以稳定开采。

第三节 东辛复杂断块油藏井网特征

东辛油区于 1961 年发现，在经历了初探、详探、试采和初期天然能量开采后，1968 年投入全面开发，1971 年开始注水。1982 年二维数字地震实现全区覆盖，1983—1987 年进入第一个增储上产的高峰期，1987 年年产油量 $328.01 \times 10^4 \text{ t}$ ，达历史最高水平。近年来，随着三维地震资料、钻井资料、开发生产资料的日益丰富，应用精细油藏描述及剩余油研究技术指导油田开发调整，全油田除极少数单元之外，其他单元均进行了一次或两次细分层系、加密井网的综合调整。对东辛复杂断块油藏的认识经历了一个由浅到深的阶段，东辛油区的勘探开发也经历了从块间接替到井间接替、由井间接替到层间接替的过程，从而使东辛油区在一段时间内持续保持了高速高效开发。

根据东辛复杂断块油藏特征，形成了不同开发时期断块油藏井网的部署和调整方式。

一、断块油藏井网部署及调整方式

1. 合理井网应满足的条件与初期井网部署原则

确定合理的注采井网要满足以下条件：

- (1) 有较高的水驱控制程度。
- (2) 适应差油层的渗流特点，达到一定的采油速度。
- (3) 保证有一定的单井控制储量。
- (4) 有较高的经济效益。

开发初期井网的部署应主要考虑以下原则:

(1) 所定井网能满足设计采油速度的要求。

从实践资料分析,井网部署原则一般是:对于高渗透、低黏度、高产能、层系单一、边水能量充足的断块油藏,初期井网的井距为 500~600 m,采油速度可达到 2% 以上;对于中高渗透、中低黏度、产能较高、多油组、天然能量弱的封闭半封闭断块油藏,初期井网的井距为 300~500 m,在注水保持地层压力条件下,采油速度可达 1.5%~2.5%;对于渗透性差或原油比较稠、多油组断块油藏,油层分布面积小,一般井距为 200 m 左右,采油速度才能达到 1.5% 左右。

(2) 所定井网应使油层最大限度地处于水驱条件下开发。

对于复杂断块油田,各种断层交错形成网状结构剖面,要研究断块大小及油砂体形态和分布,使油层最大限度地处于水驱条件下开发,减少储量损失,选择经济效益好的布井方式和井距大小。

(3) 所定井网应能获得较高的采收率,且使单位面积内井数最少。

在同样采收率下,不同断块有不同的合理井网密度,所以所定的井网既要获得较高采收率,又要使单位面积内井数最少。

(4) 所定井网应能获得较好的经济效益。

从经济效益出发,井网密度是否合理与钻井成本、油田生产费用、原油售价有密切联系。钻井成本、油田生产费用因各地区地质情况不同,差别很大。

2. 断块油藏井网形式分析

东辛断块油藏类型复杂,总体来说含油层系多、断层多、驱动类型多、断块面积小,因此开发初期采用多种井网形式。对于不同类型断块油藏,其井网部署在很大程度上受其面积、构造形态、储量多少、含油层系发育分布特点等条件的限制。通过统计胜利油区的开发单元可以看出,复杂断块油田开发中采用的主要井网形式有不规则井网、三角形面积注采井网、点状注采井网、边缘注采井网和排状行列注采井网。对于不同类型油藏,其主要井网形式不同,如扇形开启断块油藏主要采用面积或不规则井网,条带形断块油藏主要采用排状行列注采井网,半封闭型断块油藏主要采用边缘注采井网,封闭型断块油藏主要采用面积注采井网。

3. 完善注采井网的主要方法

(1) 改变注水方式,完善构造高部位(断层一线)注采井网。

弧形开启、扇形开启、半封闭等断块油藏开发初期多采用边部或低部位注水方式,采油井主要部署在构造高部位(断层一线),由于注入水及边水舌进,油水井间形成注水通道,注水效果变差,断层一线的构造高部位水驱动用程度低,剩余油富集。在构造顶部转注部分高含水油井,完善高部位的注采井网,使油井多向受效,并采取高部位与低部位交替注水方式,既可提高水驱动用程度,又可抑制边水舌进。

(2) 在新的地质认识基础上,进一步完善注采井网。

断块油藏构造复杂,储层变化大,精细地质研究后,构造及储层都有不同程度的变化,原来相对完善的注采井网变得不完善,需要根据新的地质认识来进一步完善注采井网。

(3) 提高注采井数比,增加有效注水储量。

断块油藏注采井数比总体上较低,致使水驱控制程度相对较低,影响了注水开发效果,应针对断块油藏的具体特点,补充注水井点。

(4) 加强扶停产停注井工作,恢复注水储量。

断块油藏地层水矿化度高,斜井多,井况复杂,造成停产停注井多,使得已完善的注采井网变得不完善,影响了储量动用程度。在认真调查分析的基础上,分析停产停注井的潜力,利用新的工艺技术,开展扶停工作,恢复注水储量,重新完善注采井网。

二、不同类型断块油藏井网调整及开发效果

1. 扇形开启断块油藏

(1) 油藏地质特征。

扇形开启断块油藏是在地层上倾方向被两条相交断层遮挡形成的圈闭中聚集油气。由于这种圈闭向一个方向敞开,平面形态似扇子,因此称为扇形开启断块油藏,如营 8、营 87、辛 111 等断块区的沙一、沙二含油层系,如图 1-1 所示。

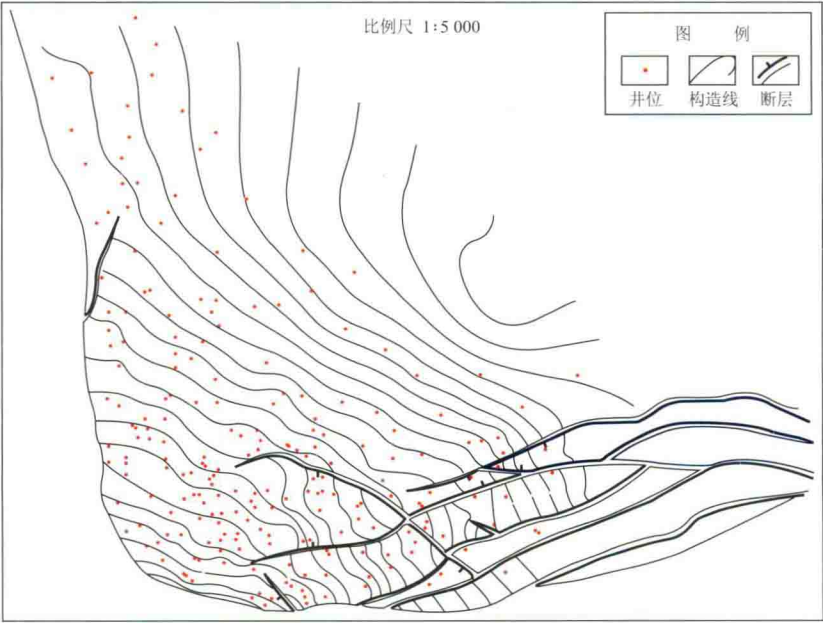


图 1-1 东辛油田营 8 断块沙二 10 砂组构造井位图

扇形开启断块油藏主要特点如下：

- ① 断块含油面积较大,一般可达 $2 \sim 3 \text{ km}^2$,可以部署正规的三角形井网。
- ② 含油层系以沙一段为主,层系单一,单层有效厚度 $3 \sim 15 \text{ m}$ 不等。
- ③ 油层渗流条件好,油层产能高,属于高饱和压力油藏。
- ④ 主要分布发育在油田构造的翼部,与洼陷相连接,故有宽阔的边水区,边水能量充足,水区体积可为油区体积的数十倍至上百倍。

(2) 井网部署调整的主要做法及效果。

对于扇形开启断块油藏,除排状行列注采井网效果相对较差外,面积及不规则井网的效

果较好。根据断块大小进行区分,面积较大的断块尽可能采用面积注采井网,面积较小的断块采用点状注采井网。

营8断块沙一1油藏位于东营构造的北翼,与民丰洼陷相连,是一个被断层遮挡单斜式的扇形断块油藏,含油面积为 2.2 km^2 ,地质储量为 $389 \times 10^4\text{ t}$ 。

营8断块沙一1初期井网为井距约600 m的四点法三角形井网,于1968年9月与沙一3、沙二1合采投入开发。1971年7月采用双管分采把沙一1与沙一3、沙二1分开,并补打部分调整井,形成各自的井网系统。至1974年底,开采速度基本保持在2%左右,总压降稳定在0.6 MPa左右,每采1%的地质储量地层压降为0.046 MPa。1975年因进一步提高开采速度的需要,关闭了该层系边部4口中高含水的油井,对顶部附近的3口不含水油井放大生产压差。在1975—1978年阶段,采出程度为14.14%,平均采油速度达3.54%。1975年该油藏还处于早期开发阶段,采出程度不高,此时及时关闭边部和中部高含水油井,顶部油井放大生产压差,提高强度自喷开采,不仅减少了边水能量的过多消耗,增强了内部油井的生产能力,还提高了边水的利用率和开采速度。实际资料和动态可证实此类油藏在较高采油速度开发状态下,效果是好的,关键是抓住时机。

通过对营8断块沙一1油藏进行数值模拟可知:

① 采收率随井网密度增大而提高。同样在初期利用天然水驱,然后逐步转入边部注水的条件下,井距为250 m的井网比500 m井距井网的采收率要高10%以上。

② 油藏自始至终利用天然能量开发,在400 m井距井网条件下,以4%的较高采油速度开采,其采收率低,采油速度高造成含水率上升快,剩余油分布集中在油藏顶部,若不进行局部井点加密,则会使部分储量损失。

③ 在采油速度基本相同的状况下,井网密度大,则稳产年限长,稳产期采出程度亦高,但最终累积水油比高,耗水量大。

总的来说,此类油藏具备高速开采的优良条件。在正常开采状况下,以2.5%左右的采油速度可以获得较长的稳产期和较高的采收率。在初期充分利用边水能量开采的基础上,掌握注水时机,立足自喷开采。初期井网以500 m井距为宜,采取逐步加密和顶部加密为主的做法。

2. 条带形断块油藏开发效果评价

(1) 油藏地质特征。

条带形断块油藏多分布于辛镇长轴背斜构造两翼的平行断阶带内,在走向断层的上升盘,延伸较长的断层弧形弯曲与倾斜地层构成圈闭,或两条较平直断层交叉与倾斜地层构成圈闭,如辛1、辛23、辛109等断块区的沙二段、沙三上各砂层组油藏均属于此类型,如图1-2所示。

条带形断块油藏主要特点如下:

① 在延伸长度达数千米的两条三级断层之间,油层沿上升盘主断层呈带状分布,但含油宽度很窄,沿断层走向延伸长度大,长宽比一般大于5:1。

② 含油层系发育,以沙二段多组油藏为主,油水系统复杂,油水过渡带很宽,往往有数十个天然油水界面。

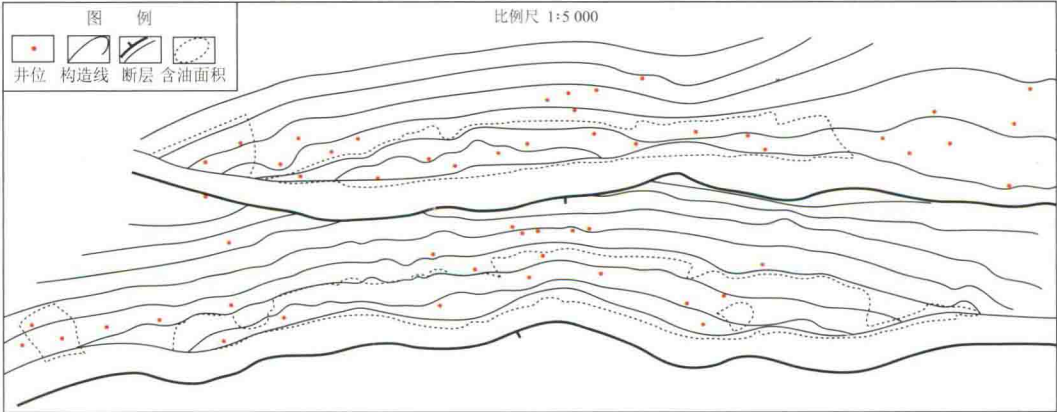


图 1-2 东辛油田辛 23 断块区构造图

- ③ 因发育在平行断层之间,故边水区范围不大,天然能量有限。
- ④ 油层以中高渗为主,原油性质中等,油层产能中等,为低饱和和压力油藏。
- ⑤ 油井多采用多层合采、层间接替的方式,见水快,无水期短。

(2) 井网部署调整的主要做法及效果。

条带形断块油藏开发井网部署都采用“占高点、打屋脊”、沿主断层排状布井的方式或采用沿主断层面钻定向斜井的方式。这类断块油藏若全部用直井来开发,井数较多,且井的实际利用率低;若全部用定向斜井来开发,井的效益较高,但需要不断进行上返接替,储量动用程度低,开发过程会拖延过久,影响开采速度。因此最合适的方法是采用定向斜井与直井相结合、分层系与层间接替相结合的开发方式。具体来说,可以人为地把油藏整个含油井段划分为上、中、下三个开发层组,上部含油层用常规直井构成一套开发井网;中、下含油层段用定向斜井布置一套开发井网,先开发下部含油层组,中部为接替层组。这样可以保证较高的储量动用程度和开采速度。

东辛油田辛 23 断块为受一条近东西向三级断层遮挡而形成的条带形反向屋脊油藏,含油面积为 3.2 km²,地质储量为 717 × 10⁴ t。该油藏在 1971 年正式投入开发,1975 年采用边部注水方式转入注水开发。2000 年 8 月在屋脊高部位转注辛 9-15 井,对应油井辛 53-20 井见效明显,日产油能力由 8.7 t/d 上升到 13.8 t/d,含水率由 99.4% 降到 93.7%,2001 年底已累积增油 1 131 t。

利用数值模拟技术对辛 23 断块沙二 1~13 油藏展开研究,得到如下认识:

- ① 该断块油藏具有多油组、长井段、多油水系统、含油条带窄的特点,必须合理细分开发层系才能取得较好的开发效果。如果同样以 300 m 井距排状布井方式及 2.5% 采油速度开发,分三套井网储量一次性动用较之逐步上返接替的做法采收率高,稳产时间更长,比实际采用的不规则井网与合采的做法效果更好。
- ② 定向井与直井相结合的方案较为理想,效益高,保证一次性动用大部分储量,在 2.5% 采油速度下,稳产期长,采收率高,投资回收期短,收益率高。

3. 半封闭型断块油藏开发效果评价

(1) 油藏地质特征。

半封闭型断块油藏是指三面被断层遮挡、一面开启的油藏，一般位于油田构造的边部，如辛 11、营 17 和营 1 等断块，辛 11 断块构造图如图 1-3 所示。



图 1-3 东辛油田辛 11 断块构造图

半封闭型断块油藏主要特点如下：

- ① 断块含油面积较小，多在 1 km^2 以内，断块几何形态不一，以狭长形居多。
- ② 含油层系以沙二段多油组主力含油层组为主，油水系统复杂，断块高部位油层多，厚度大，储量集中。
- ③ 油藏的渗滤条件与流体性质良好。油层以中高渗透为主，产能较高，为低饱和压力油藏。
- ④ 开启狭小，边水能量不足，油藏投入开发后需早期注水以保持地层压力。

(2) 井网部署调整的主要做法及效果。

对于三面封闭、一面开启的油藏，边缘注水井网的开发效果明显好于其他排状行列、不规则、面积三种井网。初期多采用不太规则的四点法三角形井网，需早期注水，注水方式多采用边部注水。

辛 11 断块沙二 1~3 油藏位于东营 - 辛镇构造过渡带南翼。断块的北、东、西三面被断层分隔，南部开启，是有一定边水区的狭长断块油藏，而其内部又被一条近似南北向的小断层分隔成两个小块，仅边部连通。该油藏含油面积为 1.35 km^2 ，地质储量为 $366 \times 10^4 \text{ t}$ 。

初期井网为井距约 500 m 的不太规则的三角形井网，共 8 口油井。初期井网井位图如图 1-4 所示。

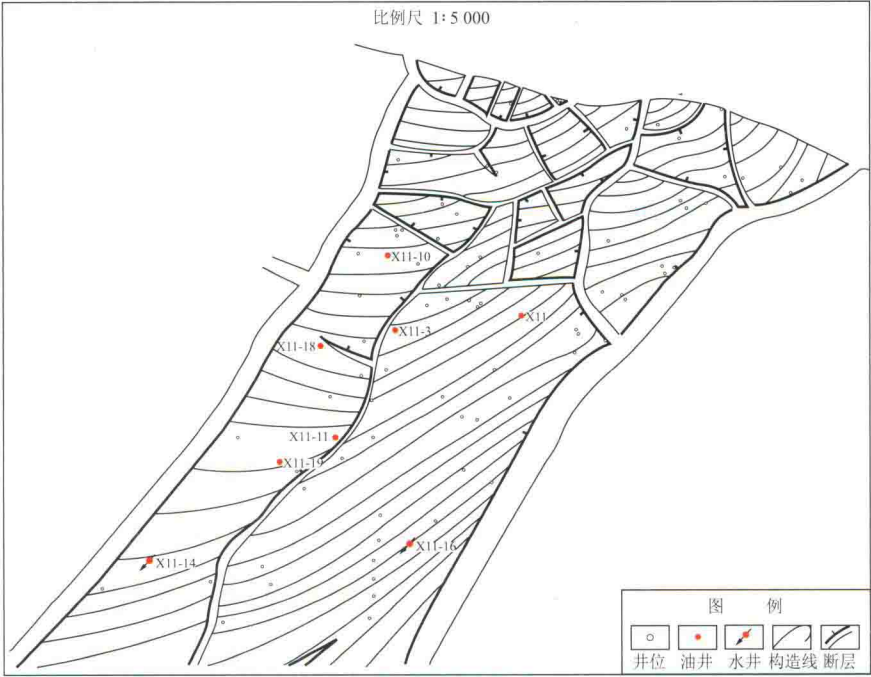


图 1-4 辛 11 断块沙二 1-3 初期井网井位图

该油藏于 1968 年 4 月投入开发, 1971 年 1 月转入注水开发, 当时有油井 7 口, 注水井 2 口, 其中一口为边部油井转注, 另一口是边外水井。在产量上升阶段, 主要采取的措施有: ① 酸化改造油层, 积极挖掘油井潜力; ② 采用边部注水方式, 掌握层间工作状况, 及时进行注水调配, 充分发挥层间潜力; ③ 及时关闭一线高含水井, 补充二、三线油井的能量, 不断改善开发效果。到开发中后期, 主要措施为: ① 加强分层注水, 分层恢复地层压力, 确保顶部井长期自喷开采; ② 定期测试, 分采分注, 实施层间接替保持稳产; ③ 适时进行顶部井网加密, 实现井间接替稳产; ④ 高含水期进行强注强采, 提液稳产。

注水方式采用边部注水, 不仅有利于注入水水线均匀推进和有效控制含水率上升, 而且对保持油藏内部油井的长期稳定自喷开采起到显著作用, 辛 11 断块高部位的 3 口油井长期自喷达 11~13 年, 自喷期间平均日产油达 43.6~58.1 t/d。边部注水也有利于提高存水率和驱油效率。

利用数值模拟技术对辛 11 沙二 1-3 断块油藏开展不同井网、不同注水方式研究(表 1-2), 得到如下认识:

- ① 在同样采取早期边部注水方式的条件下, 油藏采收率随井网密度增大而提高。
- ② 边部注水方式是适合多油组小断块油藏的, 如在 400 m 井距下, 采取单一边部注水方式的油藏采收率比采用边部与内部点状相结合的注水方式的采收率高。
- ③ 从稳产年限来看, 与该油藏实际开发状况差别较大。由于数值模拟方案均是多层合采, 而实际开发中充分发挥分层注水、主力层相互接替及科学管理作用, 效果更好。其次, 在井网加密方面初期较稀而逐步加密顶部的做法效果好。