

大庆榆树林

DAQING  
YUSHULIN  
YOUTIANKAICAIJISHU

# 油田开采技术

杨铁军 张英芝 李传江 崔广学 著



北方文艺出版社

# 大庆榆树林油田 开采技术

杨铁军 张英芝 著  
李传江 崔广学

北方文艺出版社

图书在版编目(CIP)数据

大庆榆树林油田开采技术/杨铁军等编. —哈尔滨:  
北方文艺出版社, 2004. 12  
ISBN 7-5317-1767-0

I. 大... II. 杨... III. 油田开发—研究—大庆市  
IV. TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 132343 号

大庆榆树林油田开采技术

Daqing Yushulin Youtian Kaicai Jishu

作 者/杨铁军 张英芝 李传江 崔广学

责任编辑/郭淑杰

封面设计/胡长海

出版发行/北方文艺出版社

地 址/哈尔滨市道外区大方里小区 105 号楼

网 址/<http://www.bfwy.com>

邮 编/150020

电子信箱/[bfwy@bfwy.com](mailto:bfwy@bfwy.com)

经 销/新华书店

印 刷/哈尔滨禹程商务印刷有限公司

开 本/850 × 1168 1/32

印 张/12

字 数/288 000

版 次/2004 年 12 月第 1 版

印 次/2004 年 12 月第 1 次印刷

定 价/24.00 元

书 号/ISBN 7-5317-1767-0/TE·1

## 前 言

大庆榆树林油田经过十年的开发,在各级领导的关心支持下,油田广大科技工作者发扬“大庆精神”、“铁人精神”,紧紧围绕经济效益这一中心,按照“高水平、高效益、可持续发展”的开发方针,狠抓科研攻关及新技术推广,走出了一条适合特低渗透油田开发的新路子,为油田的合理高效开发提供了技术保障。

榆树林油田主要开采扶杨油层,储层平均空气渗透率  $2.42 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,孔隙度 12.1%,油藏埋深为 1700m ~ 2200m,属断层—岩性油藏,油层以河流相沉积为主,砂体以窄条带状、透镜状为主,砂体连片性很差。自然产能极低,属特低渗透、低产、低丰度的大型油田。

面对开发难题,油田科技工作者以坚韧不拔的精神、吃苦耐劳的优良品质,克服各种困难,使油田开发始终保持相对较高的水平,形成了以“地质研究技术、油田开发技术、采油工程技术、地面工艺技术”等为主的核心技术,为确保油田的可持续发展打下了良好的基础。

在地质研究方面,始终贯彻结合动态开发反复加深油藏认识的原则,通过对探明储量的评价研究,摸清了油田储量底数。通过分区块精细地质研究及地震、地化等技术成功运用,搞清了高品质储量的分布情况,为提高油田储量动用程度,加快油田经济有效开发提供了更为可靠的基础数据。

在油藏工程方面,率先在全国低渗透油田实现同步注水,并取

得较好的开发效果;在开发逐步深入的过程中,针对不同类区块暴露出的矛盾和问题,分别进行了油田产量递减规律研究、井网加密技术研究、降低驱替阻力,提高渗流能力方法研究、注采失衡机理研究,并陆续进行开发实践,取得较好的开发效果,为油田新区块开发及老区块调整提供技术依据。

在采油工艺上,榆树林油田的科技工作者不断研究新技术、大胆引进新技术,建立了适合榆树林油田特点的配套采油工艺技术。在油田增产增注方面,开发引进了二氧化碳泡沫压裂技术、增效压裂技术、油井解堵技术、注水井增注技术,在套损机理及注水井分注工艺等方面也有较为深入的研究,对油田的高效开发起到了积极的推动作用。

总之,榆树林油田开发建设已经进入第十四个年头,这是风雨同舟的十四年,这是奋发图强的十四年。榆树林油田的广大员工们深信,依靠科技进步、技术创新,努力突破制约油田开发的“瓶颈”技术,必将使榆树林油田焕发出勃勃生机,昂首阔步地迈向美好明天。

本书由榆树林油田科技人员编写,为读者提供了油田开采各方面的技术成果,同时也是科技人员实际工作经验的总结。在本书的编写过程中,得到了公司领导的大力支持和帮助,在出版过程中,本书的编辑和印刷厂的同志们做了大量的艰苦工作,在此表示衷心的感谢。

全书共五章。第一章冯大晨参加撰写,第二章王文明、宋霞、李文婷、姜红梅参加撰写,第三章杨涛、杨志宏、周团安、赵成琢、郎成金、郭荣光参加撰写,第四章孙孝辉、王文昌、肖立国、张明智、贺绍辉参加撰写,第五章常联东、李平、韩建国、王久生、李影、徐晓燕参加撰写。

由于编写人员水平有限,涉及内容又属特低渗透油田开发的

技术难题,缺点甚至错误在所难免,尚祈读者和专家多赐教诲,作者至诚感谢。

作 者

2004 年 7 月于大庆榆树林油田

# 目 录

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| 第一章 油田基本概况                            | (1)   |
| 油田勘探开发简况                              | (1)   |
| 油田地质特征                                | (3)   |
| 第二章 地质研究及评价技术                         | (7)   |
| 东 16 区块扶杨油层精细地质研究                     | (7)   |
| 东 14 井区主力油层精细描述                       | (17)  |
| 特低渗透扶杨油层可动用储量评价研究                     | (25)  |
| 葡萄花油层成藏条件再认识                          | (39)  |
| 葡萄花油层探明储量评价研究                         | (51)  |
| 地化技术在榆树林油田疑难储层解释中的应用                  | (61)  |
| 高分辨率精细处理 and 解释地震资料在榆树林油田区块<br>评价中的应用 | (70)  |
| 榆树林油田地震资料连片处理解释技术研究与应用                | (84)  |
| 地震资料反演处理及解释技术                         | (98)  |
| 烃类检测技术在树 121 工区葡萄花层应用评价               | (111) |
| 氧化还原电位法在榆树林油田的应用评价                    | (119) |
| 储层对比及参数解释计算机辅助系统研究                    | (127) |
| 第三章 油田开发技术                            | (133) |
| 特低渗透储层注水开发特征分析                        | (133) |
| 特低渗透油田早注水减缓产量递减的机理认识                  | (140) |
| 改善主力油层吸水状况 提高油田开发效果                   | (144) |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 井网加密效果评价及潜力分析 .....           | (152) |
| 榆树林油田活性水驱油室内评价研究 .....        | (170) |
| 榆树林油田扶杨油层递减率变化规律及影响因素分析 ..... | (175) |
| 东 16 井区扶杨油层开发问题的认识 .....      | (189) |
| 榆树林油田吸水异常机理研究 .....           | (198) |
| 东 12 井区开发实践及认识 .....          | (208) |
| 榆树林油田提捞采油合理界限确定 .....         | (217) |
| <b>第四章 采油工程技术</b> .....       | (225) |
| 二氧化碳泡沫压裂技术的应用及认识 .....        | (225) |
| 榆树林油田增效压裂工艺技术研究 .....         | (233) |
| 高效洗油剂在特低渗透油田水井酸化中的应用 .....    | (242) |
| 注水井高效增注技术研究 .....             | (252) |
| 特低渗透油田油井解堵技术的实践和认识 .....      | (264) |
| 砂岩储层酸化常见损害及解决方法 .....         | (273) |
| 二氧化碳泡沫压裂液优化研究 .....           | (282) |
| 榆树林油田套损状况及机理研究 .....          | (292) |
| 榆树林油田油管断裂失效分析 .....           | (304) |
| <b>第五章 地面工艺技术</b> .....       | (319) |
| 地面集油、注水工艺技术发展回顾 .....         | (319) |
| 地面工程存在的问题及解决对策 .....          | (324) |
| 无功动态补偿节电技术应用 .....            | (330) |
| 榆树林油田加热炉节能改造研究 .....          | (334) |
| 紫外线杀菌技术在油田水质处理中的应用 .....      | (346) |
| 国内外低渗透油田油气集输专业技术现状及发展趋势 ..... | (351) |
| 浅议工程造价的控制 .....               | (356) |
| 活动式注水、水处理装置的设计及应用 .....       | (361) |

# 第一章 油田基本情况

榆树林油田位于黑龙江省肇东市昌五镇境内,东北部与尚家油田接壤,北、西、南三面分别与汪家屯气田、升平、徐家围子、朝阳沟油田相邻。有安达—肇州和肇东—昌五两条主要公路,交通方便。油田地势平坦,地面海拔 185m~220m,冬夏气温变化大,年平均降水 438mm,无霜期平均 141 天。油田地理位置:北纬 45°53'00"~46°10'00";东经 125°22'45"~125°41'00"。区域构造属于松辽盆地中央坳陷区三肇凹陷东部斜坡,主要产油层位是中生界白垩系泉头组三、四段的扶余、杨大城子油层。

## 油田勘探开发简况

### 一、油田发现阶段

榆树林油田地震勘探工作开始于 1962 年,同年在斜坡高部位尚家鼻状构造上钻第一口探井尚 1 井,因未见油气显示而报废。因此暂时停止了对榆树林地区的勘探工作。

自 1975 年以来,在整体解剖三肇凹陷的勘探过程中,1979 年 4 月树 1 井在扶余油层试油,自然产量仅 0.31t/d,1979 年 7 月树 2 井在扶余油层试油,压裂后气举产油 3.61t/d,从而揭示了扶余油

层的工业价值。由于当时针对葡、扶油层甩开勘探,完钻的 23 口探井大多数只钻穿泉三组中、上部,仅树 2、升 20、26 井获得工业油流,其他井均获低产、少量油流或油显示。

## 二、油田详探评价阶段

1985 年开始进行油藏评价,该阶段初探与详探工作交叉进行,采取“整体部署,立体勘探,分步实施,逐步完善”方针,1985 年完成  $1 \times 2\text{km}$  测网的 12 次覆盖模拟地震详查,同时加深钻井,加强对杨大城子油层的勘探。1985 年钻探树 103 井,并在杨大城子油层试油,压裂后气举产油  $14.74\text{t/d}$ ,认识到该层也是主要产油层,为寻找中、高产井提供了依据。这期间钻井 67 口,有 19 口井获工业油流,从而迅速确定了有利含油区。

1988 年以后,先后集中力量对油田东部、南部和北部进行详探评价。完成了东 13—升 37—东 11 井连线以南地区  $0.5 \times 1\text{km}$  测网的 24~48 次覆盖数字地震精查,在此基础上又完成了树 123 区块(面积  $45\text{km}^2$ ) $0.5 \times 0.5\text{km}$  测网数字地震精查及树 8 井区、东 14 井区、树 32 井区、树 103 井区、树 2 井区及东 18 井区六块三维地震。1988 年在油田南部钻树 131 油基泥浆取芯井,1990 年钻树 113 密闭取芯井,落实储层含油饱和度,建粒了油层有效厚度及物性参数解释标准。同时在深入研究油层有效厚度质量的基础上,对一批老井进行二次试油,并获得工业油流。

## 三、开发前期准备阶段

在油田详探工作尚未结束前,为研究河道砂体储层规模及油层改造、油田开发技术,1990 年在油田东区开辟了由 28 口井组成的树 32 开发试验区,试验区主要由  $300\text{m}$  正方形井网构成,含油面积  $2.7\text{km}^2$ ,地质储量  $247 \times 10^4\text{t}$ 。根据对油层的认识程度,并考虑

到以后的注采系统调整,试验区采用了以反九点为主的注水方式。

树 32 试验区通过一年多时间的注水开发,证实榆树林油田扶杨油层经过压裂改造后,可以利用人工注水补充地层能量。但由于砂体规模小、储层物性差、水驱控制程度低,部分油井受效差,后期开发中需进行注采系统调整,以提高采收率。

为了进一步了解油田砂体分布和发育状况,1991 年在油田南区完钻了 8 口十字剖面砂体解剖井,结合树 32 试验区砂体发育情况,认为榆树林油田扶杨油层主要为一套河流相沉积,砂体多呈条带状、断续条带状、透镜状和局部连片展布,个别砂体为大面积连片。条带状砂体具有一定的方向性和规模,主要储集层所占厚度百分比比较大,因此目前 300m 井网基本能够控制主要砂体和储量。

#### 四、油田开发阶段

根据地质条件和储量丰度,采用“先好后坏,先肥后瘦”滚动开发的原则,从 1991 年到 2003 年选择东、北、西、南四大区块先后投入开发。油田自 1991 年投入开发以来,针对特低渗透复合型油藏的特点,加强开发前期工程和综合研究力度,采取全面评价、整体解剖,优选有利开发区块,优化开发方案设计,形成了一套适应榆树林油田特点的油藏评价技术和开发开采技术,取得了较好的开发建设效果,对油田储量结构和可开发动用条件有了更加深层次的认识。

### 油田地质特征

榆树林油田是大庆外围特低渗透、低产、低丰度油田,油藏类型属于断层—岩性复合型油藏,油田区域构造位置处于松辽盆地

北部中央坳陷区三肇凹陷东部斜坡,受任民镇—肇州断裂带控制。

## 一、构造特征

榆树林油田总体构造格局是一个由东北向西南倾斜的单斜构造,构造高差 300m~500m,东北部陡(倾角  $2.7^{\circ}$ ),西南部宽缓(倾角  $1.5^{\circ}$ )。斜坡上断层十分发育,其中 T2 反射层断层较发育,均为正断层,延伸方向以近南北向为主,其次为北北东向和北北西向,少数断层东西向,纵向上从 T1 断至 T3 层的断层占了断层的绝大部分。断层延伸长度一般 2km~5km,最长延伸距离大于 15km,断距一般 30m~50m,最大断距为 100m,倾角一般  $30^{\circ}$ ~ $50^{\circ}$ 。走向近南北向的断层切割单斜构造,形成近于南北向展布的地垒和地堑相间的格局,且断块由东向西逐渐降低。北部断层延伸较长,地垒、地堑较为宽阔;南部断层一般延伸较短,地垒、地堑狭窄。

## 二、地层与储层特征

榆树林地区自上而下发育有第四系地层,白垩系上统的明一段及四方台组,白垩系下统的嫩江组、姚家组、青山口组、泉头组、登楼库组地层,侏罗系地层和基底地层。本区缺失第三系地层及白垩系上统的明二段地层。主要产油层位是中生界白垩系泉三、四段的扶余、杨大城子油层。

扶杨油层是一套以河流—三角洲相沉积为主的储层,影响榆树林储层沉积的主要沉积体系为盆地东北部的青冈—望奎沉积体系,方向为北东向,其次为盆地南部的保康沉积体系,两支沉积体系在榆树林汇集后,由尚家、朝阳沟间的太平川一带向东流出。根据区域沉积研究成果及单井旋回性质、岩石剖面结构、砂体分布规模及特征,将扶杨油层划分为六个油层组(扶Ⅰ组~扶Ⅲ组,杨Ⅰ组~杨Ⅲ组),39 个小层(扶Ⅰ组 7 个小层,扶Ⅱ组、扶Ⅲ组各 5 个

小层,杨Ⅰ组、杨Ⅱ组各7个小层,杨Ⅲ组8个小层),地层总厚度450m~570m。砂体以窄条带状、透镜状为主,大面积连片砂体很少。

扶杨油层储层物性属特低渗透,平均有效孔隙度12.3%,空气渗透率 $2.71 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,自然产能极低。储层物性平面具有北好南差的趋势,垂向上FⅠ组和YⅠ组好于其他油层组。

### 三、油水分布特征

石油生成运移、断层形成发育、储层沉积成岩三者 in 时空的有机匹配,决定了榆树林油田油水分布特点。从总体看,油底水顶变化总趋势与斜坡构造的高低基本一致,但局部受岩性、物性、砂体类型和规模、断层、构造、圈闭条件等综合控制,分布异常复杂,在全区表现为没有统一的油水界面。造成油底层位差异主要表现在两方面:一是断层性质与砂体发育程度共同影响断块之间差异,早期断层两侧油底层位差异大,中晚期断层两侧差异幅度取决于砂体发育程度的变化;二是砂体发育程度变化决定断块内油底的变化。从单井钻遇油层剖面来看,油水分布也相当复杂,呈5种类型:全井纯油层型、上油下水型、水夹层型、油夹层型、全井干层或水层型。

根据油水层发育程度的不同,全区可分为三个油水系统,即中部榆树林油水系统、榆树林西南油水系统和尚家油水系统。西南油水系统油底深度相对稳定;中部榆树林油水系统油底深度变化较大,极不稳定;尚家油水系统以水层为主。

### 四、储层流体特征

地下原油性质具有粘度小(4.06MPa·s),体积系数小(1.104),油气比低( $22\text{m}^3/\text{t}$ )的特点;地面原油密度为 $0.8581\text{t}/\text{m}^3$ ,粘度为

28MPa.s,含蜡量为 23.3%,含胶量为 14.3%,凝固点为 33.4℃。地层水  $\text{Cl}^-$  含量 1400 ~ 2700mg/l,最高 3953.79 mg/l,总矿化度 4100 ~ 6500 mg/l,pH 值为 7.9,水型以重碳酸氢钠型为主,局部地区有硫酸钠型和氯化钙型分布。

## 第二章 地质研究及评价技术

### 东 16 区块扶杨油层精细地质研究

**摘要:**本文以沉积微相研究为基础,对东 16 井区扶杨油层沉积环境、储层非均质性、储层微观结构进行细致研究,确定含油砂体分布规律,并利用储层微型构造研究技术,研究储层微型构造发育状况,确定剩余油分布规律,为寻找高效井和培养井,为井区后期注采系统调整提供充分的地质依据。

#### 一、前言

东 16 井区位于榆树林油田的北部,扶杨油层含油面积约  $9.6 \text{ km}^2$ ,地质储量  $746 \times 10^4 \text{ t}$ 。该井区是一个被断层复杂化的,向西倾斜的单斜构造,发育 6 条大断层,且均为正断层,走向以近南北向和近北北东向为主。中间一相互联接的复杂断层将整个井区分为东 160 和升 371 两个断块。东部升 371 断块单斜相对较陡,平均倾角  $4.0^\circ$  左右,储层发育较稳定。东 160 断块的东 161 井区受断层影响,地势平缓,最大倾角  $1.36^\circ$ ,其他井区倾角一般在  $2.2^\circ - 4.1^\circ$  之间,最大达  $5.7^\circ$ 。东 16 井区扶杨油层砂体平均有效厚度  $14.3 \text{ m}$ ,平均孔隙度  $13.5\%$ ,平均空气渗透率  $4.47 \times 10^{-3} \text{ um}^2$ ,油藏类型为断层—岩性复合油藏。

榆树林油田东 16 井区自 1993 年第四季度投产以来,单井平

均日产量一直保持较高势头,初期单井平均日产油达到 13.8t,是榆树林油田的主力产油井区。然而随着生产时间的延长,排间矛盾越来越突出,注水井排油井含水上升相当快,目前已有 22 口油井含水超过 80%,严重影响了开发效果。针对开发中所出现的问题,为更好地指导油田开发,我们对东 16 井区扶杨油层开展了精细地质研究工作,综合利用探井资料、测井资料和几年来积累的动态开发资料,并利用沉积相研究、储层微型构造等技术,对该井区扶杨油层沉积环境、储层特征及非均质性,储层微型构造、含油砂体分布规律进行细致研究,以便为井区今后开发调整提供更为可靠的依据。

## 二、东 16 井区扶、杨油层储层沉积微相类型

### (一)扶杨油层储层细分沉积时间单元

东 16 井区扶杨油层油层段主要集中在扶 I 组至杨 II 组之间,在原来划分为 31 个小层的基础上,通过精细对比,可细分为 71 个沉积时间单元(见表 1),如主力油层扶 I2 划分为 3 个沉积单元,扶 I4 划分为 4 个沉积时间单元。

表 1 东 16 井区扶 I 至杨 II 组沉积单元划分表

| 油层组   | 小层数(个) | 沉积单元(个) |
|-------|--------|---------|
| 扶 I   | 7      | 17      |
| 扶 II  | 5      | 11      |
| 扶 III | 5      | 11      |
| 杨 I   | 7      | 16      |
| 杨 II  | 7      | 16      |
| 合计    | 31     | 71      |

### (二)东 16 井区扶、杨油层细分沉积微相

结合区域沉积背景,通过对东 16 井区内 6 口探井岩芯观察,

对沉积特征,如泥岩颜色、岩性、结构特征、沉积构造,古生物化石及含有物垂向特征的分析,可识别出 5 种大相,即极快速水进型浅水三角洲相,曲流河相,干旱低能小型顺直河流相,湖泛平原相和湖沼相,相应地识别出 27 种微相(见表 2)。

扶杨油层垂向相序为:

扶 II 上 三角洲前缘亚相

扶 II 下 - 扶 II 上 三角洲分流平原亚相

扶 II 下 - 扶 II 3 曲流河相

扶 II 4 - 扶 III 3 干旱低能小型顺直河流相

扶 III 4 - 扶 III 5 上 湖泛平原相

扶 III 5 下 湖沼相

杨 II 上 三角洲内前缘亚相

杨 II 下 三角洲分流平原亚相

杨 II 2 - 杨 II 7 曲流河相

表 2 榆树林油田东 16 井区扶杨油层沉积相类型对比表

| 相类型              | 曲流河      |          | 三角洲         |             | 干旱低能<br>小型河流 | 湖泛平原       | 湖 沼        |
|------------------|----------|----------|-------------|-------------|--------------|------------|------------|
| 微<br>相<br>类<br>型 | 点坝       | 河床<br>滞留 | 水下席<br>状 砂  | 水下条<br>带 砂  | 顺直河道         | 湖泛河道       | 湖 沼<br>砂 洲 |
|                  | 天然堤      |          | 水下分流<br>河道  | 水下分<br>流间   | 天然堤          | 湖泛薄<br>层 砂 | 湖沼泥        |
|                  | 决口扇      |          | 水下分流<br>决口扇 | 水下分流<br>天然堤 | 决口扇          | 湖泛泥坪       |            |
|                  | 废弃<br>河道 | 决口<br>河道 | 水上<br>分流河道  | 水上分流<br>决口扇 | 泛溢河道间        |            |            |
|                  | 泛溢河道间    |          | 水上分流<br>天然堤 | 水上分<br>流 间  |              |            |            |

### 三、东 16 井区扶杨油层储层非均质特征

#### (一)平面非均质性