

# 辽河油田勘探开发研究院优秀论文集

## (2009年)

张方礼 主编

石油工业出版社

# 辽河油田勘探开发研究院 优秀论文集

(2009 年)

张方礼 主 编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书为辽河油田勘探开发研究院 2009 年优秀论文汇编,涉及油田勘探开发、试验及地震处理等方面内容。

本书可供从事石油勘探开发等方面的研究人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

辽河油田勘探开发研究院优秀论文集. 2009 年/张方礼主编.  
北京:石油工业出版社,2011.4

ISBN 978-7-5021-8311-0

I. 辽…

II. 张…

III. ①油气勘探-辽宁省-文集

②油田开发-辽宁省-文集

IV. ①P618.130.8-53 ②TE34-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 036471 号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. com. cn

发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

---

2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:16.75

字数:424 千字

---

定价:120.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

# 《辽河油田勘探开发研究院优秀论文集(2009 年)》

## 编 委 会

主 任：张方礼

副主任：李晓光 龚姚进 李铁军 张巨星

武 毅 刘其成 郭 平 单俊峰

成 员：宁日亮 刘纯高 赵洪岩 许 宁

蔡国刚 雷安贵 陈永成 周发平

刘宝鸿 胡英杰 郭彦民 高树生

温 静 孙洪军 孔令福 赵庆辉

李维民 运利华 刘志惠



# 前 言

2009 年,辽河油田勘探开发研究院持续深入学习实践科学发展观,广泛开展“坚定信心迎挑战,共克时艰促发展”主题教育活动,以“创建同行业一流研究院”为动力,以增储稳产为中心,抓好三级储量,统一规划部署,科学组织实施。全年部署预探井 55 口,实施 40 口,新获工业油气流井 15 口;部署滚动、油藏评价井 36 口,开发井 318 口。新增探明石油地质储量  $3288 \times 10^4 \text{t}$ 、控制储量  $6608 \times 10^4 \text{t}$ 、预测储量  $7018 \times 10^4 \text{t}$ ,分别完成年度计划的 110%、132% 和 117%,全年完成各类科研生产项目 136 项。获辽河油田公司以上各级科技进步奖 31 项。

油气勘探按照“突出潜山勘探、加强外围发现、加快滩海准备”的勘探部署原则,以处理解释一体化、预探评价一体化工作方式全面实施“3554”工程,全面超额完成三级储量任务。开发紧紧围绕原油稳产千万吨级规模目标,认真落实油田公司“二次评价、二次开发、深度开发、多元开发、高效开发”的二十字开发方针,深化开发研究,不断筑牢各项工作基础,有力提升了辽河油田全面可持续发展能力。

为总结 2009 年勘探开发的成功经验,更好地指导辽河油区的勘探开发生产,我们从 49 项获得辽河油田勘探开发研究院科技进步奖的获奖成果中优选出 25 项形成论文并汇编成书。

本书是辽河油田勘探开发研究院科技人员辛勤劳动、集体智慧的结晶,内容从地震资料处理解释到勘探开发部署,从基础研究到机理研究,从陆上研究到海上研究,覆盖面广,并在总结成功经验的同时,指明了存在的问题及油田今后的勘探开发方向。希望该书的出版能在辽河油区今后的勘探开发研究中发挥积极作用,也为国内外同行提供有益的借鉴和参考。

由于篇幅有限,书中难免存在疏漏和不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2010 年 11 月

# 目 录

## 中深层工业化汽驱精细评价及调整策略研究

..... 张方礼 孙洪军 户昶昊 赵春梅 董文明等(1)

## 成熟盆地规模发现的勘探理论与可持续发展

..... 李晓光 单俊峰 高险峰 李五金 胡振华等(7)

## 辽河油区原油开发中长期战略规划研究

..... 龚姚进 刘 勇 叶 锋 杨 军 周 琳等(16)

## 铁匠炉斜坡带油藏特征及预测技术

..... 张巨星 徐丽英 赵淑琴 解宝国 王宇斯等(39)

## 辽河油田水驱油藏注水新技术探索与实践

..... 武 毅 温 静 阴艳芳 司 勇 张新培等(53)

## 稠油开采先导试验基地开发试验技术研究中心建设

..... 刘其成 赵庆辉 张 勇 刘宝良 张卫东等(59)

## 辽河滩海地区油气富集条件研究与区带优选

..... 郭彦民 邹丙方 陈志强 吴冬梅 吴兴录等(66)

## 大民屯凹陷基岩油气成藏特征及勘探潜力

..... 牟 春 杨 雪 何绍勇 张和金 张子璟(80)

## 重构地下认识体系 优化部署研究 实现曙一区超稠油持续稳产

..... 龚姚进 孙洪军 荐 鹏 邱树立 臧克一等(93)

## 低渗油藏潜在损害因素分析及渗流特征研究

..... 王西江 张艳芳 李学万 王恩辉 张 宏(99)

## 东部凹陷中南部沙三段储层发育特征与目标评价

..... 李 军 肖红平 杨光达 时林春 丁秀春等(112)

## 多介质辅助重力泄油及薄层 SAGD 室内实验研究

..... 彭 旭 刘宝良 蔡庆华 贾大雷(122)

## 辽河西部凹陷三维地震处理与评价 ..... 高树生 张淑梅 柳世光 李智杰 于 娟(132)

## 辽河油田 MRC 技术适应性研究

..... 姜来泽 张宝龙 李续儒 刘雪梅 田 利等(144)

## 辽河油田精细油藏描述技术与应用

..... 武 毅 张新培 许 宁 闫军生 盛 聪等(155)

## 辽河油田开发静态数据库系统建设 ..... 徐胜利 张超环 金祥祥(160)

## 陆东凹陷沉积储层研究 ..... 裴家学 吴桂玉 咎国军 赖 鹏 白鲁山等(170)

奈曼油藏地质体一体化研究与实践

|                              |                      |       |
|------------------------------|----------------------|-------|
| .....                        | 谷 团 王奎斌 姚 睿 程建平 王 欢等 | (184) |
| 荣兴屯油田北部储量二次评价研究 .....        | 李鲁斌 满安静 封晓明          | (194) |
| 辽河滩海西部古近系碎屑岩储层特征研究 .....     | 刘媛媛 吴兴录 邹丙方 崔 琳      | (201) |
| 铁匠炉地区岩性地层油气藏处理技术研究           |                      |       |
| .....                        | 王 媛 刘文霞 李洪柱 臧明福 赵玉会等 | (213) |
| 西部凹陷中北段地震资料连片叠前时间偏移处理技术研究    |                      |       |
| .....                        | 高树生 刘文霞 李洪柱 张 高 韩 敏等 | (219) |
| 兴隆台潜山带油气富集条件及成藏特征            |                      |       |
| .....                        | 刘 敬 赵立旻 杨景勇 于海波 赵 驰  | (224) |
| 油井产能计算及评价方法研究 .....          | 于 军 陈 超 汤 志 朱丽萍 董 良  | (235) |
| Landmark 软件一体化应用配套技术研究 ..... | 朱孔斌 孙兆宽 郑见中          | (249) |

# 中深层工业化汽驱精细评价及调整策略研究

张方礼 孙洪军 户昶昊 赵春梅 董文明 孙 念 林中阔

**摘要** Q40 块是辽河油田典型的中深层普通稠油油藏,2006 年实施工业化蒸汽驱,为提高蒸汽驱开发效果,开展了地质体分类、蒸汽腔发育规律、注采十大关系等专项研究和整体调控对策研究,成果已经应用 125 井次,区块产量以每年递增  $10 \times 10^4 \text{t}$  的速度大幅上升。所开展的调控对策研究为提高规模汽驱效果发挥了重要作用,也为中深层稠油油藏工业化汽驱开发提供了丰富经验。本文重点对蒸汽波及规律研究方法和调控对策界限开展论述。

## 1 引言

Q40 块构造上位于辽河断陷盆地西部凹陷西斜坡上台阶中段,东北部紧邻齐 108 块,西南与欢 60 块相接。开发目的层为沙三下莲花油层,全块含油面积  $7.9 \text{km}^2$ ,原始地质储量  $3774 \times 10^4 \text{t}$ ,原始储量丰度  $478 \times 10^4 \text{t/km}^2$ 。

Q40 块蒸汽驱的研究与实践,经历了 4 个阶段:1995 年开展室内研究;1998 年 10 月开展了 4 个井组先导试验;2003 年 7 月进行扩大试验,试验井组扩大到 11 个;在试验成功基础上,于 2006 年进行工业化整体转驱。70m 和 100m 两种井距正方形反九点注采井网,部署 150 个蒸汽驱井组。2006 年开始实施,2008 年 3 月 150 个井组全面转驱。转驱后区块产量呈上升趋势:目前区块日注汽 14812t;井口日产油由转驱前的 1304t 上升至目前的 2262t;瞬时采注比 1.0,油汽比 0.15,采油速度 2.0%,各项开发指标均达到了方案设计要求。

## 2 中深层工业化汽驱精细评价研究

### 2.1 蒸汽驱动用程度评价

#### 2.1.1 汽驱纵向动用程度研究

(1) 驱吸汽剖面 + 渗透率级差法。

对先导试验及规模汽驱吸汽剖面 + 渗透率级差法对测试资料分析结果表明,影响纵向吸汽的主控因素为渗透率级差,渗透率级差与吸汽强度有较好的关系,随着渗透率级差的增加,吸汽强度降低,当渗透率级差大于 4 时,基本不吸汽(图 1)。

采用上述判断方法,考虑分注情况,分析出 138 个井组中,纵向吸汽比例大于 75% 的井组 112 个,占 81.2%;小于 75% 的井组 26 个,占 18.8%。其中 65 井组有 22.2% ~ 23.6% 的井组纵向吸汽比例小于 75%,42 井组为 4.8%,所以下一步对该类井组应做重点调整。

(2) 井温剖面 + 蒸汽热水判断法。

根据压力与饱和温度关系,当油藏压力为 2 ~ 3MPa 时,相应饱和蒸汽温度应在 212 ~ 234℃,才能为蒸汽状态,据此结合井温剖面,确定出蒸汽范围;同时,根据原油黏度—温度曲线,当温度达到 90℃ 时,地下原油黏度低于  $50 \text{mPa} \cdot \text{s}$ ,地下原油容易流动,因此确定热水温度为 90℃,根据蒸汽温度和热水温度,就可以明确蒸汽和热水动用状况(图 2)。采用以蒸汽带



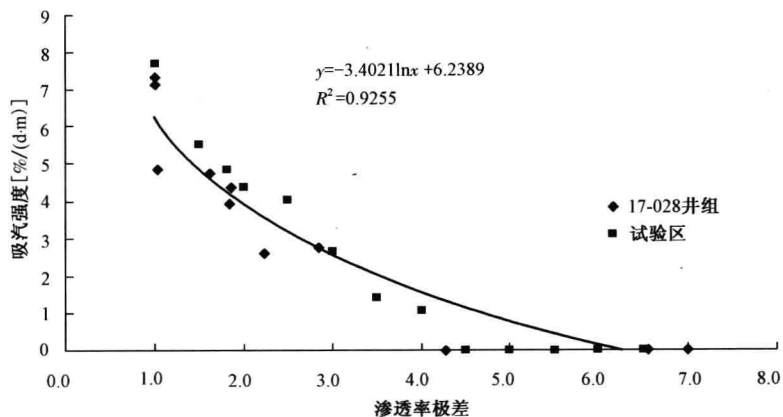


图1 17-028井组与试验区井组吸汽强度与渗透率级差关系曲线

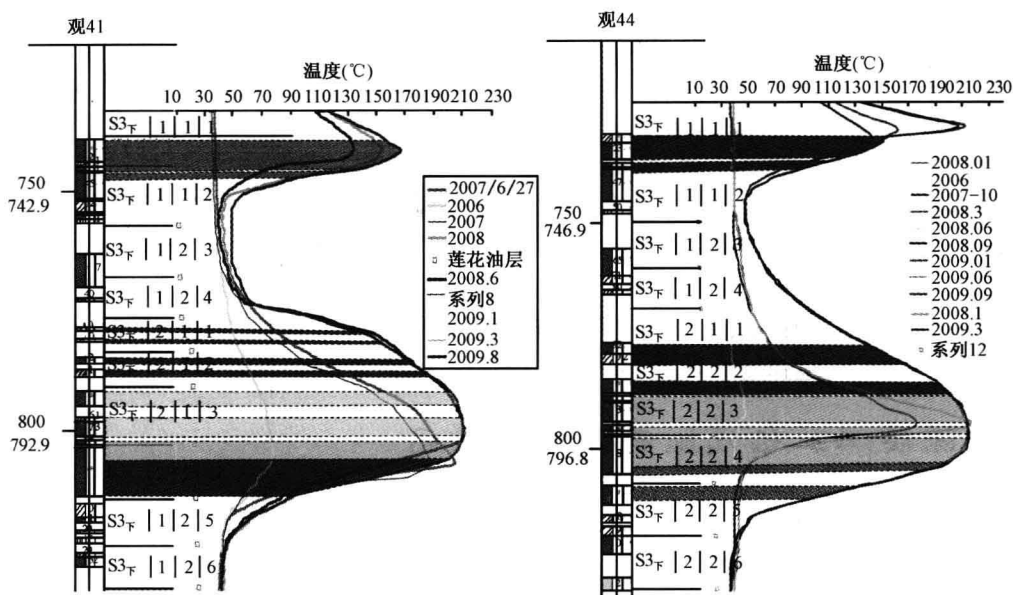


图2 观41井、观44井井温剖面图及蒸汽和热水范围示意图  
(浅色和深色分别代表蒸汽和热水范围)

及热水带井组面积比例代替厚度比例法,计算蒸汽动用层位主要为莲 $I_1^2$ 、 $I_2^1$ ,莲 $II_1^1$ 、 $II_1^2$ 、 $II_1^3$ 、 $II_2^1$ 小层,纵向动用程度为19.7%~33.8%,热水动用层位主要为莲 $I_1^1$ 、 $I_2^2$ ,莲 $II_2^2$ 、 $II_2^3$ ,纵向动用程度为32.3%~48.0%,累计纵向动用程度62.8%~71.1%。

通过分析33口温度观察井,13口压力观察井资料,在蒸汽主力波及方向,蒸汽+热水纵向波及程度70%~85%,其中蒸汽为30%~40%,非蒸汽主力波及方向,主要为热水波及,热水纵向波及程度70%~80%。

(3)采用截面积评价方法,反映油藏纵向汽驱动用状况。

该方法以蒸汽带及热水带井组面积比例代替厚度纵向比例的动用程度。通过井温等测试资料描绘出汽驱井组热水带和蒸汽带的波及范围(图3),以井组蒸汽带及热水带纵切面积比例代替纵向动用程度,真实反映了油藏纵向汽驱动用状况。蒸汽纵向波及程度,即以注汽井吸

汽比例为底、蒸汽波及距离为高的一个近似三角形的面积： $A_{\text{蒸汽}} = h_{\text{is}} \cdot d_s / 2$ 。热水带波及程度即为总动用程度与蒸汽带波及程度之差： $A_{\text{热水}} = (h_{\text{iw}} + h_{\text{ow}}) \cdot d_w / 2 - A_{\text{蒸汽}}$ 。汽驱井组动用程度即蒸汽带和热水带的总的波及面积，在井组纵切面上反映的是一近似梯形面积，计算公式如下： $V_{\text{动用}} = (A_{\text{蒸汽}} + A_{\text{热水}}) / A_{\text{总}}$ 。运用该方法可以较准确地计算出几个重点观察井组的蒸汽和热水的纵向波及情况。如 17-028 井组蒸汽纵向动用程度 23.2%，热水纵向动用程度 48.0%，合计动用程度 71.2% 波及状况。

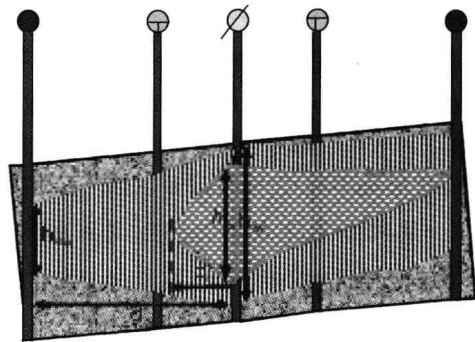


图3 汽驱井组纵向蒸汽和热水波及状况描述图

### 2.1.2 汽驱平面动用程度研究

利用以见效时间、曲线形态、生产动态、压力、温度为主的液流平面分析法，确定单井组优势方向及生产井受效方向，同时，蒸汽的主要波及方向也随着开发动态调控不断变化。主要有以下三种平面动用判断方法：(1) 根据生产井见效时间及产量变化幅度，确定见效的主次方向；(2) 由生产井受效形态结合监测资料判断蒸汽形态变化；(3) 根据生产井受效方向及观察井资料判断井组内的主要蒸汽流动方向。

研究结果认为，平面动用方向受沉积和地层倾角双重控制，初期短期内主要受沉积微相影响，之后倾角占主要作用的 65 井组主要动用方向为沉积方向及高倾角部位的上倾方向，73 井组主要动用方向为沉积方向。

## 2.2 蒸汽驱驱替规律研究

### 2.2.1 揭示了蒸汽波及规律的 5 种模式

通过对大量监测资料研究总结形成了 5 种特点鲜明的蒸汽热水波及形态，这五种波及形态能够较清楚地反映出地质体发育特点(图 4)，箱形蒸汽波及形态对应的储层非均质较弱，净总比厚度高，转驱前动用均匀，为最理想的转驱条件；大锥形波及为蒸汽的一个普遍波及形态，对应汽驱储层纵向动用比较均匀，部分高渗层出现高温现象；双峰形蒸汽波及形态一般对应储层净总比相对较低，隔夹层较厚有两个高渗层，蒸汽波及呈现双峰形态；小锥形蒸汽波及形态为储层非均质较强，单层突进系数高，出现单层蒸汽大量波及现象；弓形波及形态，一般对应储层净总比较小，隔夹层发育频繁，油层热利用率较低。

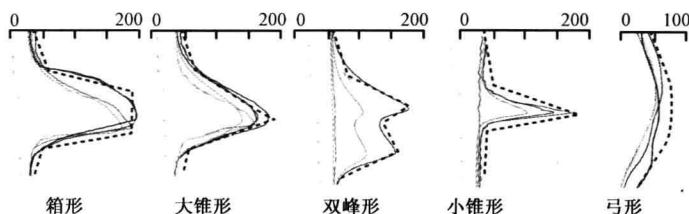


图4 蒸汽波及 5 种模式

### 2.2.2 进一步认识了蒸汽在时间和空间上的变化规律

通过蒸汽和热水随时间在平面、纵向空间展布的研究,进一步明确了蒸汽在不同时间不同阶段的波及规律。汽驱开始的热连通阶段,主要是蒸汽腔横向扩展,进入到驱替阶段后,主要为纵向扩展和缓慢横向推进。当汽腔纵向达到最大时,生产动态达到高产稳产期。有了以上对蒸汽波及基本规律的认识可以进一步明确下一步汽驱的调控方向。

### 2.2.3 量化了蒸汽在平面和纵向上的扩展速度

通过监测资料和数值模拟等多手段的研究,量化了蒸汽横向和纵向的扩展速度。研究表明:转驱初期主要受沉积微相影响(9个月内),表现为部分层系温度快速升高,注汽井附近的观察井出现高温蒸汽,汽腔扩展速度随时间逐渐变缓。热连通阶段蒸汽平面推进速度 3.8m/月,纵向扩展速度 2.2m/月,进入驱替阶段推进变缓,介质目前平均推进速度 0.9~1.1m/月。据此可推算蒸汽突破时间,进而确定汽驱最佳的调控时机。

### 2.2.4 明确目前 Q40 块蒸汽驱仍处于驱替阶段

根据先导试验跟踪分析及数模资料研究结果,以油气比、采注比、压力、产液温度、注入 PV 及可动油采出程度等 6 个参数为划分汽驱开发阶段的基本参数,将中深层蒸汽驱划分为 4 个阶段,即热连通、驱替、突破和剥蚀 4 个阶段。按照先导试验注入采出规律分析,先导试验 0.92PV 进入至蒸汽突破阶段,工业化汽驱受转驱条件等原因的影响,预计注入量达到 0.6PV 时进入突破阶段。目前工业化汽驱整体处于驱替阶段。

### 2.2.5 受沉积及地层产状影响,仍有一半以上的井组受效不均衡

依据井组平面受效方向统计,Q40 块主体部位 27 井组和 38 井组中分别有 66.7% 和 55.3% 的井组受效生产井比例低于 60%。说明单井组内平面生产井受效极不均匀,导致蒸汽在单方向过多窜进后单层突破,产量波动较大。27 井组、38 井组多向受效井符合受效向数的比例分别占总井数的 52.3% 和 59.5%。说明多向受效井难以受到多个方向的作用,影响了开发效果。

## 3 工业化汽驱调控对策

### 3.1 调整思路

- (1) 提高当前产量与实现最终采收率相结合。
- (2) 超前开展先导试验与保证规模效果相结合。
- (3) 实施快速见效措施与实施见效慢措施相结合。
- (4) 较高成本与较低成本的措施调控相结合。

(5) 平面调控与纵向调控相结合,蒸汽注入与采出流体控制相结合,油藏工程优化与钻采工艺措施相结合,提出合理可行的调整设计。

### 3.2 研究注采关系确定调整界限

通过统计单井和单井组的蒸汽驱注汽参数、生产数据、储层参数、油层参数等数据资料,研究其关系,发现这些蒸汽驱注采操作参数、储层、油层参数间有一定的相关性,共归纳总结出以下“十大关系”。

(1) 注入孔隙体积与采出程度关系: 注入孔隙体积与汽驱阶段采出程度呈现较好的二阶函数关系。

(2) 吸汽强度与渗透率级差的关系: 影响纵向吸汽的主控因素为渗透率级差, 当渗透率级差大于 4 时, 油层基本不吸汽。

(3) 注汽速率、干度与深度的关系: 油藏深度在 1000m 时, 要保证井底蒸汽干度大于 40%, 其注汽速率必须大于 93t/d。

(4) 注汽速率与油气比的关系: 注汽速率在  $1.6\text{t}/(\text{d} \cdot \text{ha} \cdot \text{m})$  条件下可保持较佳的油气比。

(5) 注汽量变化幅度与日产油、油气比的关系: 注汽量降低幅度应控制在 10% 以内, 影响产量较小并可提高油气比水平。

(6) 采注比与油气比的关系: 采注比与油气比呈现较好的正比例函数关系。

(7) 采注比与蒸汽腔体积百分比的关系: 提高采注比可以增加蒸汽波及体积。

(8) 采油速度与油气比的关系: 采油速度与油气比呈线性关系。

(9) 有效厚度与油气比关系: 有效厚度与油气比呈现较好的二阶函数关系。

(10) 油层温度与见效时间的关系: 油层温度越高, 见效时间越短。

### 3.3 调控对策

#### 3.3.1 主体部位以改变蒸汽流向, 提高蒸汽有效波及体积为主

(1) 注入井及生产井纵向调整, 改变驱替层位。

① 注汽井: 调整纵向吸汽剖面(调剖或双管注汽), 提高汽驱有效控制程度; 主力层临近蒸汽突破, 注汽井采取降低蒸汽注入速率(下调 10%); 注汽井注入气体介质试验提高下部蒸汽波及。

② 生产井: 采取封堵纵向单层汽窜层位达到改变驱替流向的目的; 采取选层吞吐引效、选层压裂, 改善未动用层的注采连通关系。

(2) 平面上完善生产井采液井点及综合控制。

① 平面上采取液量动态调控, 以控制蒸汽流向。

② 针对注汽井不吸汽的井段, 生产井集中吞吐引效, 改善蒸汽流向。

③ 钻更新井及部署水平井完善采液井点, 提高汽驱储量控制程度。

#### 3.3.2 边水区调整驱替层位及调整井网提高开发效果

(1) 确定有效驱替层位, 封堵与边水相连接层位, 减弱边底水影响。

(2) 关闭部分井组及调整井网提高汽驱有效控制储量。

### 3.4 实施效果

随着多项调控措施有条不紊的进行, Q40 块蒸汽驱产量在不断攀升, 部分调整措施对改善汽驱效果起到了重要的作用。自 2006 年开始逐步转驱以来, 调控措施已经应用 125 井次, 区块产量以每年递增  $10 \times 10^4\text{t}$  的速度大幅上升。预计在实施合理调控措施的情况下, Q40 块工业化汽驱 2010 年和 2011 年的年产油将分别达到  $73.6 \times 10^4\text{t}$  和  $81.6 \times 10^4\text{t}$ , 最终将实现采收率 60% 的目标。

## 4 结论与建议

(1) Q40 块工业化汽驱处于驱替阶段的蒸汽腔稳定扩展期,蒸汽驱较为正常,汽驱产量仍有进一步提高的潜力。

(2) 提高蒸汽波及效率、提高注入油藏有效热量及有效采注比是保证油藏达到预期效果的关键。

(3) 保持纵向上及平面上蒸汽前缘的稳定波及是保证井组高产稳产的核心,工业化汽驱蒸汽液流改向技术仍要不断地完善和改进。

(4) 下步攻关方向还要向多介质及水平井辅助蒸汽驱等液流改向技术发展。

### 参考文献

- [1] 罗英俊. 采油技术手册(修订本)[M]. 北京:石油工业出版社,1996
- [2] [美]洪 K C. 蒸汽驱油藏管理[M]. 北京:石油工业出版社,1996
- [3] 刘慧卿,范玉平. 热力采油技术原理方法[M]. 东营:石油大学出版社,2000
- [4] 杨胜来,魏俊之. 油层物理学[M]. 北京:石油工业出版社,2004

# 成熟盆地规模发现的勘探理论与可持续发展

李晓光 单俊峰 高险峰 李玉金 胡振华 高 敏

**摘要** 通过对辽河油田石油地质规律全面系统的攻关研究,解决了制约成熟盆地油气规模发现过程中关键的科学难题,创建了成熟盆地富油气凹陷油气规模发现的勘探理论和方法体系,即富油气凹陷“源储一体化”勘探思路 and 理念、潜山内幕油气成藏理论、成熟盆地地层岩性油气藏成藏 T-CDMS 多要素评价理论,形成了潜山内幕、地层岩性油藏两大类八项核心技术,指出了成熟盆地规模发现的四个勘探领域,同时论述了辽河油田“十一五”勘探实践取得的主要成果和“十二五”可持续发展规划。

## 1 引言

陆相富油气凹陷是我国东部主要含油气盆地类型,随着勘探程度的不断提高,我国东部主要的含油气盆地均已进入高成熟勘探阶段,如何在成熟盆地探索出规模发现的勘探理论和技术、发现整装规模储量、从资源上保障“东部硬稳定”是面临的突出科学问题。通过对辽河坳陷进行为期3年的“整体”“全面”和“系统”的攻关研究,从理论认识到技术研发、从目标预测到钻探实践,取得了多项创新认识及成果,解决了制约成熟盆地油气规模发现过程中关键的科学难题,并在基岩内幕、地层岩性油气藏、深层天然气等领域取得了五类十二项重大突破、重大进展和重要苗头,为辽河油田的稳定发展作出了突出的贡献,对辽河油田的进一步勘探和我国类似盆地油气勘探也起到了指导和借鉴作用。

## 2 成熟盆地富油气凹陷油气规模发现的勘探理论与技术

“十一五”以来,面临勘探程度的不断提高、发现整装大油田概率越来越小的严峻形势,辽河油田创新思维、大胆探索,对三大探区的地层、生油、沉积、储层、成藏机制、油气分布规律及特殊储层的勘探技术开展“整体”“全面”和“系统”的攻关研究,建立了成熟盆地富油气凹陷油气规模发现的理论与技术,促进了勘探发现。

### 2.1 成熟盆地富油气凹陷油气规模发现的勘探理论和方法体系

#### 2.1.1 富油气凹陷“源储一体化”勘探思路 and 理念

创新了以储层评价为核心,以源岩评价为约束的“源储一体化”勘探理念,即在富油气凹陷中决定圈闭能否成藏的两个最关键因素是“源岩和储层”,首先从坳陷的剩余资源潜力分析入手,明确剩余潜力较大能够形成规模储量的勘探领域或层系,同时通过以储层评价为核心的区带评价来寻找优质储层,配以油气输导体系为纽带的研究方法,形成了在富油气凹陷中“源储一体化”勘探理念。提出成熟盆地富油气凹陷规模发现前景广阔,高成熟勘探程度的富油气凹陷的低勘探程度地区、层系仍然具有较大的勘探潜力和规模发现的基础。

#### 2.1.2 基岩内幕油气成藏理论

基岩内幕地层不是均一块体,而是由多种类型岩性构成层状或似层状结构,在不同时期区



域应力作用下形成了多期裂缝,因此在基岩内幕形成了多套储层和非储层,在具备良好油气输导体系的条件下,在基岩内幕不同深度层段形成了多套油水系统,这些突破性的认识实现了潜山勘探观念转变,建立了基岩内幕成藏新模式。

基岩内幕油气成藏理论突破了五方面的传统地质认识:一是突破了潜山内幕为均一块体的传统认识,建立了潜山地层具有层状或似层状结构的基本格架;二是突破了暗色矿物含量高的岩类不能成为储层的认识,首次发现潜山岩性具备“优势岩性”序列;三是突破了潜山油藏仅以不整合面为运移通道制约,建立了复合式、立体网状输导体系,供油“窗口”大小是潜山规模成藏关键;四是突破了传统潜山风化壳成藏模式制约,建立了潜山内幕油气成藏模式;五是突破了潜山油藏“高点控油、统一油水界面”认识,提出了“油气成藏底界深度不小于烃源岩最大埋藏深度”的理念。该理论拓宽了成熟盆地规模发现的勘探领域。

### 2.1.3 成熟盆地地层岩性油气藏成藏评价理论——T-CDMS 油气成藏基本要素理论

研究认为在富油气凹陷控制油气成藏的主控因素可概括为受盖层(C)、地质相(D)、古隆起(M)、烃源灶(S)以及成藏地质历史时期(T)的控制,这五个重要因素可以在不同时期分布在不同的区域,在空间上的叠合范围也不同,因此应充分考虑上述要素在历史地质时期的匹配效果。各要素在同一地质历史时期最佳匹配时最有利于油气藏形成,在众多的地质历史时期中最为关键的是源岩主排烃期。这些因素总的叠合区在研究区大量成藏的地质历史时期约束下,控制了油气分布。

## 2.2 潜山内幕、地层岩性油气藏两大类八项核心技术

针对制约潜山内幕勘探重大难题,自主创新了潜山内幕地震成像预测、岩性识别与储层评价、内幕结构研究、裂缝识别与分布预测、油层保护、油层改造增产六项勘探工程配套技术;针对地层岩性油藏研发了地层岩性油藏地质评价、高精度地震储层预测等两项勘探技术,这些新技术的研发有效地保障了油藏的发现。

### 2.3 建立成熟盆地可持续发展研究体系

根据油气勘探可持续发展的特点和模式,建立了涵盖资源保障能力、储量增长能力、勘探综合能力、环境应对能力等四个方面十二项评价内容的一套油气勘探可持续发展潜力评价体系,为高成熟探区如何实现可持续发展提供了可行的研究思路和方法。

### 2.4 规模发现的重要勘探领域

在“源储一体化”勘探理念、潜山内幕油气成藏理论、地层岩性油藏成藏评价理论指导下,分析认为高成熟盆地的潜山内幕勘探领域、地层岩性油藏勘探领域、深层砂岩气藏以及外围中小凹陷等领域具备油气规模聚集的良好条件,是成熟盆地地下步规模发现的重要勘探领域。

#### 2.4.1 基岩内幕领域

辽河拗陷是中生代、新生代板块构造和古生代槽台构造叠加的结果,基底整体呈北东向展布、东西向隆洼相间、近等间距平行排列的构造格局,是中生代以来燕山期至喜山期深大断裂活动的结果。通过本课题的理论与技术攻关,创建了基岩内幕油气成藏理论,纵向上将潜山风化壳勘探拓展到基岩内幕勘探,横向上将占含油气盆地 15%~20% 的潜山领域拓展到全盆地

的基岩领域。从辽河拗陷三大凹陷勘探程度分析,辽河西部凹陷古近系探井密度高达  $0.6$  口/ $\text{km}^2$ ,而基岩探井密度仅为  $0.15$  口/ $\text{km}^2$ ,辽河大民屯凹陷古近系探井密度达  $0.4$  口/ $\text{km}^2$ ,基岩探井密度仅为  $0.28$  口/ $\text{km}^2$ ,辽河东部凹陷古近系探井密度达  $0.2$  口/ $\text{km}^2$ ,基岩探井密度仅为  $0.06$  口/ $\text{km}^2$ ,基岩勘探程度很低。因此,基岩是辽河拗陷深化勘探的重要领域。

#### 2.4.2 地层岩性油气藏

地层层序格架、构造演化史及沉积体系时空展布分析表明辽河拗陷具有发育地层岩性油气藏的有利条件:一是发育多源多期多种类型大规模砂砾岩体,为岩性油气藏的形成提供了先决条件;二是岩性砂体与烃源岩有机配置,有利于岩性油气藏的形成,现已发现地层岩性油藏均受烃源灶控制;三是存在岩性油气藏有利分布区。在三大凹陷的缓坡带和陡坡带发现较多岩性地层圈闭,在深陷带沙三段存在大的浊积砂岩体。因此,辽河拗陷地层岩性油气藏具有较好勘探前景,是辽河油田今后增加储量和稳定产量的重要目标。

#### 2.4.3 深层天然气藏

综合研究表明,辽河拗陷深层有利勘探面积大,勘探程度低,天然气成藏条件有利,是老油区寻求规模发现的重要领域。

一是深层洼陷区生油岩厚度大、生烃强度大,资源潜力大:如清水鸳鸯沟洼陷是西部凹陷的最大生烃洼陷,沉积多套巨厚生油岩,主要发育沙四段、沙三段和沙一二段多套烃源岩,最大生油岩厚度达  $2000\text{m}$ ,平均超过  $1200\text{m}$ ;有机质丰度高,沙三段源岩总有机碳含量为  $2.5\% \sim 3.0\%$ ,沙四段为  $3\% \sim 4.5\%$ ;有机质类型好,为  $\text{I} \sim \text{II A}$  型,生烃强度大,平均达  $1500 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$ ;供烃面积系数可达  $0.9$ ,排烃条件优越;且三维盆地模拟结果显示埋深超过  $5000\text{m}$  产生裂解干气。因此,深层气存在较大的资源潜力。

二是沉积相带有利,发育多套砂砾岩储层:辽河拗陷三大凹陷整体为狭长构造形态,具有多物源、近物源的特点,存在多种类型的储层。沙三段扇三角洲前缘水下分流河道微相和湖底扇中扇辫状河道微相砂岩储集性能最好,是油气最富集的场所。油气主要分布在斜坡带和坡折带,并且多套含油层系叠加连片,沙四段、沙三段时期,盆地发育处于鼎盛时期,形成冲积扇-扇三角洲-湖底扇沉积体系。多期发育的砂体,与湖相泥岩组成多套有效储盖组合。

三是深层具有较好的储层条件:岩心观察和分析化验资料证实,辽河拗陷深层具有较好的储层条件,如西部凹陷的齐 62 井  $3371.5\text{m}$ ,为粒间溶孔、粒内溶孔,长石部分被溶蚀;46 个样品分析,孔隙度为  $3.8\% \sim 13.3\%$ ,平均  $9.7\%$ ,渗透率为  $1 \sim 39\text{mD}$ 。在  $3500\text{m}$  以下存在异常孔隙发育带,也进一步证实深层具有较好的储集能力。

#### 2.4.4 辽河外围中小凹陷

辽河外围盆地是指除辽河拗陷以外,分布于辽宁省、内蒙古自治区通辽—赤峰地区的诸多凹陷的总称。第三次油气资源评价预测外围中生代凹陷总油资源量为  $7.9 \times 10^8 \text{t}$ ,气资源量  $130 \times 10^8 \text{m}^3$ ,其中陆家堡凹陷、钱家店、龙湾筒、茫汉、张强和宋家等重点凹陷的油资源量为  $4.6 \times 10^8 \text{t}$ ,气资源量  $60 \times 10^8 \text{m}^3$ 。截至 2005 年底,在陆家堡、钱家店、龙湾筒、张强凹陷 4 个凹陷的生油洼陷周边以构造油气藏为主累计上报探明石油地质储量  $7349 \times 10^4 \text{t}$ ,其中陆家堡凹陷探明  $6827 \times 10^4 \text{t}$ ,其他三个凹陷只探明  $522 \times 10^4 \text{t}$ ,勘探程度很低。而且 1996—2005 年的 10 年间仅探明  $1942 \times 10^4 \text{t}$ ,勘探基本没有规模储量发现。

“十一五”以来,通过深入的石油地质综合研究,取得了三点新认识。

一是外围中生代凹陷多为箕状狭长型小凹陷,宽度较窄,陡岸发育的扇三角洲砂体,可直接伸入洼陷内,为原生岩性、构造岩性油气藏形成提供了十分有利的储集空间。

二是外围中生代凹陷储层物性普遍较差,多为中—低孔、低—特低渗储层,同时凹陷边部的边缘相砂体物性更差(孔隙度平均为 11.1%,渗透率 5mD),油气难以富集,但在洼陷部位相带相对有利,物性好(孔隙度平均为 16.2%,渗透率 35.8mD),易于形成原生油气藏,同时早期进油可抑制成岩作用,使油藏物性相对较好,这决定了洼陷部位油气保存条件较好,具有优先在生油洼陷内聚集的良好条件。

三是从油气分布特点看,在凹陷的边部,由于断裂发育、砂体发育、封盖条件较差,基本以稠油为主。根据油气分布规律分析,边部有稠油,在凹陷深部就应该有稀油和天然气。

因此,外围中生代小凹陷应把勘探目标锁定在洼陷内部,按“下洼找油”的思路开展工作,陆家堡、张强、奈曼、龙湾筒、钱家店凹陷为下步勘探重点。

### 3 辽河油田规模发现勘探实践

上述理论与技术有效指导了 2006 年以来辽河坳陷的勘探实践,相继在基岩内幕、地层岩性油气藏、深层天然气等领域优选了 19 个重点区带,发现和落实圈闭 120 个,部署各类探井 230 口,取得十二项重大突破、重大进展和重要苗头;累计新增探明天然气地质储量  $36.13 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,新增探明石油地质储量  $12499 \times 10^4 \text{ t}$ 、控制石油地质储量  $14175 \times 10^4 \text{ t}$ 、预测储量石油地质  $14381 \times 10^4 \text{ t}$ ,建原油年产能力  $100 \times 10^4 \text{ t}$ (表 1)。

表 1 辽河油田“十一五”石油预探主要成果

| 序号 | 成果名称                    | 代表井                                                    | 净增石油( $10^4 \text{ t}$ )/天然气地质储量( $10^8 \text{ m}^3$ ) |       |       |             |
|----|-------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------|-------|-------------|
|    |                         |                                                        | 探明                                                     | 控制    | 预测    | 储量规模        |
| 1  | 辽河坳陷潜山油气藏<br>勘探获重大突破    | 兴古 7、陈古 3、沈 288<br>哈 20、高古 2、赵古 1                      | 6741                                                   | 11282 | 6016  | 24039       |
| 2  | 辽河坳陷岩性油气藏<br>勘探获得新进展    | 锦 310、齐 233、坨 45<br>前 32、铁 25、锦 315<br>红 22、红 23、于 103 | 297                                                    | 2742  | 7363  | 10402       |
| 3  | 辽河坳陷深层天然气<br>勘探见到好苗头    | 红 22、红 23、<br>双 225、双 227                              |                                                        |       |       | /预计 100     |
| 4  | 辽河滩海中东部油气<br>勘探获重要发现    | 葵东 1、盖南 1、龙王 3                                         | 3595/32.87                                             | 43    |       | 3638/32.87  |
| 5  | 辽河外围“下洼找油”<br>油气勘探获得新突破 | 奈 1、强 1<br>交 38、宝 1                                    | 3665.64/3.26                                           | 108   | 1002  | 4776/3.26   |
| 合计 |                         |                                                        | 14299/36.13                                            | 14175 | 14381 | 42855/36.13 |

#### 3.1 辽河坳陷潜山油藏勘探

“十一五”以来,受西部凹陷曙光低潜山和大民屯低潜山勘探的启发,开展三维地震资料精细采集处理、潜山岩性识别及储层评价、潜山油气藏成藏条件、潜山勘探配套技术等攻关研究,形成了潜山内幕油气成藏理论和勘探配套技术序列,在兴隆台、前进、法哈牛、曙北—高升、