

辽河油田勘探开发研究院优秀论文集

(2010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 (2010 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 2010 年优秀论文汇编, 涉及油田勘探开发、试验及地震资料处理等方面内容。作者都是长期从事油田勘探开发工作的研究人员, 具有丰富的现场实践经验和较高的理论研究水平。

本书可供从事石油勘探开发等方面工作的研究人员参考。

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. 2010 年/张方礼主编.
北京: 石油工业出版社, 2012. 4
ISBN 978 - 7 - 5021 - 8966 - 2

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 (2012) 第 042691 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](http://www.petropub.com.cn)

编辑部: (010) 64523537 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 4 月第 1 版 2012 年 4 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 14

字数: 357 千字 印数: 1—1000 册

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（2010 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 许 宁 蔡国刚 雷安贵

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

2010 年,勘探开发研究院按照油田公司一届二次职代会和公司党委一届三次全委(扩大)会议工作部署,深入开展“增储稳产降成本、创优创效创和谐”主题教育活动,组织“增储稳产劳动竞赛”,不断强化科技创新,全年部署预探井 52 口,实施 28 口,新增工业油气流井 9 口;部署滚动、评价井 29 口,开发井 210 口。完成新增探明石油地质储量 $6676 \times 10^4 \text{t}$ 、控制储量 $5749 \times 10^4 \text{t}$ 、预测储量 $6053 \times 10^4 \text{t}$,分别完成年度计划的 223%、115% 和 121%。

油气勘探按照“深化潜山、发展岩性、加快滩海、拓展外围、推进南海”的思路,以处理解释一体化、预探评价一体化工作方式,深化油气地质综合研究,全面超额完成三级储量任务。开发按照“方式转换促增长、二次开发调结构、精细注水降递减、产能接替求平衡、提高单产作保障”的总体目标和思路,突出关键、特色技术的创新与推广应用,为原油千万吨规模稳产提供了技术保证。

为总结 2010 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 50 项获得勘探开发研究院科技进步奖的成果中优选出 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,内容囊括了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。本书在总结成功经验的同时,也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

2011 年 11 月

目 录

厚层稠油油藏火驱技术研究与实践

..... 张方礼 孙洪军 胡士清 宫宇宁 高 飞 等 (1)

辽河油田重点勘探领域潜力分析及规划部署

..... 李晓光 单俊峰 回雪峰 李玉金 胡振华 等 (8)

双 6 储气库精细地质研究及方案优化设计

..... 龚姚进 潘洪源 刘纯高 闵忠顺 王丽君 (17)

大民屯凹陷太古界成藏主控因素分析 ... 牟 春 何绍勇 杨 雪 张子璟 吴文柱 (28)

西部凹陷中北段地震资料精细成像技术研究

..... 张 高 郭 平 高树生 刘文霞 李洪柱 等 (40)

兴隆台潜山带亿吨级探明储量研究

..... 孔令福 史际忠 王 睿 李鲁斌 崔成军 等 (48)

K 油田二次上产开发技术研究 邱 林 许 宁 袁清秋 徐 萍 徐明旺 (54)

辽河外围张强凹陷成藏条件、成藏规律及有利勘探区

..... 张 斌 冉 波 宫振超 张 浩 张学武 等 (63)

中高渗水驱砂岩油藏深部调驱技术研究

..... 武 毅 司 勇 盛 聪 王化敏 于泗海 (77)

化学驱油体系优化与评价技术研究

..... 于 涛 张艳娟 郭丽娜 郝艳秋 刘家林 等 (82)

超稠油油藏驱泄复合及重力泄水辅助蒸汽驱提高采收率技术研究与实践

..... 龚姚进 韩 冰 张丽萍 张甜甜 李培武 (92)

曙光—高升元古界潜山成藏特征分析及勘探实践

..... 张 坤 潘日芳 王高飞 郭 琳 余 婧 等 (99)

中央潜山带地震攻关处理技术研究与应用

..... 董兵波 柳世光 季占真 邹洪学 刘 洋 等 (106)

外围盆地低品位油藏开发实践 谷 团 姚 睿 王奎斌 吕 滨 郭小超 等 (117)

兴隆台潜山岩性识别与评价 宋柏荣 韩洪斗 崔向东 (127)

有效地震属性在地质研究工作中的应用

..... 迟红霞 杨彦东 荐 鹏 杨新标 崔丽静 等 (138)

辽河滩海潜山地质特征及勘探目标选择

..... 王佳林 潘 伟 崔玉哲 邹丙方 柏 桐 等 (145)

西部凹陷西斜坡中南段基岩油气成藏特征与目标评价

..... 张菊香 张东伟 李春峰 李 理 李秀明 (154)

不同类型难动用油藏二次评价研究

..... 李鲁斌 李渔刚 封晓明 刘 畅 常敬德 等 (166)

辽河外围地区地震资料品质分析及对策研究	 牟经福 李洪柱 张淑梅 刘文霞 高大成 (171)
稠油油藏不同热采方式产出流体监测技术研究与应用	 张耀星 莫 生 薛 莹 杨鹏成 王 杨 (178)
辽河油区老油田精细地质研究与剩余油分布	 武 毅 张新培 温 静 闫军生 王奎斌 (188)
辽河油田勘探信息化平台建设与应用	 孙兆宽 廉法科 梁振宇 李微巍 回 岩 等 (193)
XSLQ 南部新近系岩相古地理研究	 吴炳伟 王先勇 邹荷莉 黄淑芳 张亚丽 等 (203)
铀矿成矿及富集条件研究	 王世亮 管国军 杨松林 罗 林 朱世娇 (212)

厚层稠油油藏火驱技术研究与实践

张方礼 孙洪军 胡士清 宫宇宁 高飞 何慧卓

摘要 辽河油田于2008年5月开始在G块进行火驱先导试验,目前已成功掌握了直井火驱相关技术并得到了一些结论:平面上燃烧前缘推进以储层物性好、亏空大的方向为主,以舌状单层单向推进方式为主,采用吞吐开发了20多年的直井网进行火驱,动用程度较低。本文在G块跟踪效果评价的基础上,对该块直井水平井组合火驱进行研究,设计了先导试验井组,同时采用区块类比、经验公式计算及数模研究方法,对直井水平井组合火驱的各项参数进行优化设计。

1 引言

辽河油田稠油资源丰富,探明储量 $11 \times 10^8 \text{ t}$,占石油地质储量的46.2%。稠油老区经多年蒸汽吞吐开发,目前多数稠油区块都已进入吞吐后期的递减阶段。近年来蒸汽驱、蒸汽辅助重力泄油(SAGD)技术已成为稠油吞吐后主要的产能接替方式,但应用范围受限。火驱作为一种大幅度提高稠油采收率技术,是一种潜力较大的、适用范围较广的产能接替方式,它能够解决油藏深、稠、水的问题,且能耗低,国外成功火烧油层采收率一般可达50%~80%。

辽河油田从1996年开始进行火烧油层研究,火驱试验大体可分为四个阶段:1997年,在科尔沁油田庙5块进行了浅层低渗透稠油油藏火驱采油试验;2005年至2008年5月,在曙光油田杜66块中深层薄互层稠油油藏、高升油田高3-6-18块深层厚层块状稠油油藏,开展了蒸汽吞吐后期火驱转换开发方式先导试验;2010年3月至今,在曙光杜66块、高3-6-18块和高3块进行火驱扩大试验;2010年6月至今,进行了新型火驱技术的攻关研究。

近年来,辽河油田在火驱室内物理模拟、直井井网火驱、火驱跟踪调控、直井水平井组合火驱方面均开展了相关的研究工作,并取得了阶段性的研究成果,形成了包括火驱室内物理模拟技术、直井井网火驱设计技术、火驱跟踪调控技术的辽河稠油火驱研究技术。

2 火驱技术简介

在辽河油田火驱技术就是火烧油层技术。火烧油层(In Situ Combustion)是将含氧气体注入油层,使其与油层原油混合并点燃,燃烧反应产生的热能和气体用于加热裂解和驱动稠油,通过高温燃烧带的传播将油推向生产井,注入气可以是空气、富化空气(通常是纯氧)或衰竭空气(空气与循环产出气的混合物)。该工艺的燃料通常认为是热解反应过程中沉淀在矿物基质上的类焦炭物。其主要机理是高温裂解、气体驱动和加热降黏(图1)。这些反

应发生在燃烧区的前缘上，在此氧的浓度被认为是零。根据反应温度的不同，可以分为低温氧化、中温氧化和高温氧化。

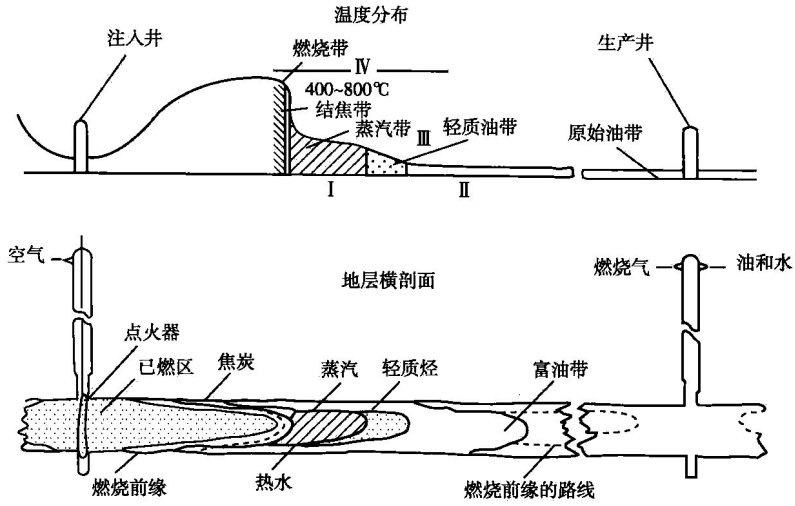


图1 火烧油层机理图

将水平井应用到火烧油层技术中是所有的火驱开发前沿技术中最热点的技术。目前正在研究的有 THAI 和 COSH 两种技术。THAI 技术是一种改进了的火烧油层技术，井网由一口垂直井和一口水平井组成，垂直井注空气，水平井采油，该技术的重要特征是燃烧前缘沿着水平井从端部向跟部扩散，并在燃烧前缘前面迅速形成一个可流动油带。加热油借助重力作用迅速下降，到达生产井的水平暴露段，不用从冷油区内流过，实现了短距离驱替（图2）。COSH 技术的井网由顶部垂直井注气，两翼远距离井采气，底部水平井采油，该技术力图把重力对燃烧前缘的稳定特性、重力泄油的高采收率特性、火烧油层的高能量效率、水平井的高速采油能力综合在一起，实行气液分采，使燃烧前缘的稳定性更容易维持（图3）。

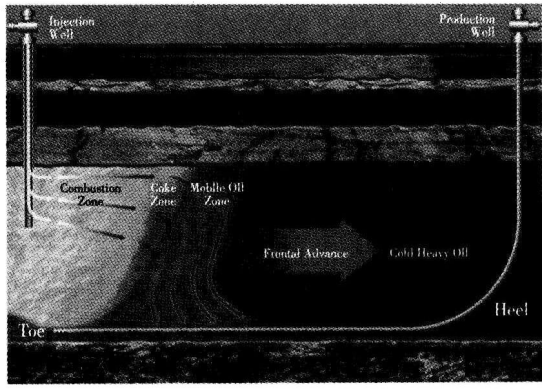


图2 THAI 火驱示意图

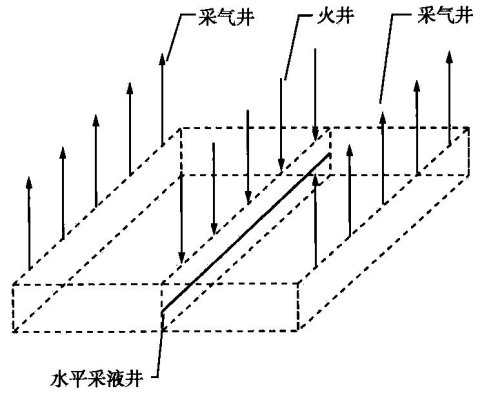


图3 COSH 火驱示意图

3 辽河油田火驱技术研究

3.1 火驱室内物理模拟技术

自主研发火烧油层一维、二维物理模型，并成功进行火驱实验，掌握燃烧参数关键数

据。利用一维物理模型获取了包括点火温度、通风强度、氧气利用率、视氢碳原子比 (H/C)、燃烧率、驱油效率等火烧基础燃烧参数,研究燃烧温度变化规律及驱油效率。通过进行火驱机理研究,认识了火线平面及纵向波及特征。平面上火线优先向井距小的生产井推进,调节生产井的产量可以改变火线推进方向,提高波及体积;纵向上火线存在超覆现象,油层越厚,火线超覆越明显。

3.2 厚层块状油藏直井网火驱设计技术

以 G 块为例,进行了厚层块状油藏直井网火驱先导试验。G 块位于辽宁省台安县境内,构造上处于西斜坡北段高升油田高二、三区东北部,开发目的层为沙河街组三段莲花油层 L_5 、 L_6 、 L_7 砂岩组。本次研究的目的层为主力油层 L_5 、 L_6 砂岩组,油层埋深 $-1540 \sim -1890\text{m}$,含油面积 1.16km^2 ,石油地质储量 $1323 \times 10^4\text{t}$ 。该块于 1986 年采用正方形井网、210m 井距投入蒸汽吞吐开发,经过二次加密调整目前井距为 105m,以蒸汽吞吐开发为主,2008 年 5 月开始进行火烧油层试验。

(1) 针对倾角大的特点,设计行列井网“移风接火”式开发。

采用直井“移风接火”能最有效地实现重力驱,且可以避免油井多次经过火线损坏油管;容积驱替效率有很大的改善;空气需求量较小,已燃区原油重新饱和的可能性小;所有生产井都可用来采油;便于追踪评价,易于控制。

(2) 利用现有井网设计合理的井网井距。

G 块采用行列井网,注气井排距为 210m、井距为 105m 井网形式(表 1)。

表 1 G 块不同排距对比

注气井排距 (m)	注气井井数 (口)	累计产油 (10^4t)	采出程度 (%)	投入产出比	特点
105	72	475	35.9	1:2.1	管火、控火容易,但投资大
210	43	428	32.3	1:2.2	管火、控火容易,经济效益好

(3) 针对油藏厚度大的特点,优化注气井、油井射孔层段,减缓火线超覆。

采用行列井网,对层系内分注层数进行了数模计算。研究结果表明,油井全井段射开,注气井采取分二级射孔,产油量增加幅度最大,生产效果好,纵向动用均匀,分多级虽然产量更高,但现场实施难度大,因此,推荐注气井分二级射孔。

在上述研究的基础上,对注气井分层射孔位置进行了优选:(1) 注气井射开 L_5^2 、 L_5^4 ;(2) 注气井射开 L_5^1 、 L_5^3 ,油井全井段射开。模拟结果表明,注气井射开 L_5^2 、 L_5^4 火驱效果好于注气井射开 L_5^1 、 L_5^3 。推荐注气井射开 L_5^2 、 L_5^4 小层,即射开目的层的下部 $1/2 \sim 2/3$ 。

油井射孔层位优选:与蒸汽驱相比,由于产出气体密度比蒸汽低,火线超覆比蒸汽驱蒸汽超覆更加严重,为了防止火线超覆对火驱驱油效率的影响,对油井射孔层位进行了优选,数模研究结果表明:注气井射孔层位为 L_5^2 、 L_5^4 时,油井射开下部油层,纵向动用程度高,累计产油量高,空气油比低;但油井射开厚度越小,采油速度越低,当油井射开 L_5^{2-4} 小层时,产量增加幅度最大,油井射开含油井段下部层一方面可以降低产气量,另一方面也可以减缓火线超覆造成的纵向动用程度,因此,推荐油井射开对应层系含油井段下部 $2/3$ 。

(4) 针对地下存水多,设计干式正向燃烧。

燃烧方式包括干式燃烧和湿式燃烧。干式燃烧指只注入空气，湿式燃烧指在注入的空气中加入一定量的水。

湿式燃烧是为了利用干式燃烧过程中在已燃区残留下的大量热量。加入一定的水量，燃烧前缘所残留的热量将水加热成蒸汽，随着水空气比的增加，驱油效率直线上升，但存在一个最佳水空气比。加入的水量过大，使前缘温度降低，严重时会将燃烧熄灭。

模拟结果表明，湿式火烧效果比干式火烧效果稍差。原因在于试验区已经进行了 21 年的蒸汽吞吐采油，况且蒸汽吞吐的回采水率也比较低，目前油层的含水饱和度已经比较高，在不注水的情况下就会形成湿式燃烧，因此，采取水气同注的方式进行湿式火烧不但不能提高火烧效果，而且还要增加配套的注水系统，是得不偿失的。推荐 G 块采用干式火烧方式进行火驱开发。

(5) 根据燃烧体积的变化，设计变速注气方式。

G 块注气速度设计以数值模拟为基础，优化过火截面积及注气井动态配气技术，合理设计注气速度。根据注气井射开厚度及火线超覆确定燃烧厚度，计算不同火线波及状况下的注气速度。采用干式正向燃烧“移风接火”式，分两套层系火驱开发，井距 105m，排距 300m；采用变速注气的方式注气，初期单井注气速度 $5000 \sim 7000 \text{ m}^3/\text{d}$ ，动态分段增加注气速度，月增 $3000 \sim 4000 \text{ m}^3/\text{d}$ ，油井排液量 $15 \sim 25 \text{ m}^3/\text{d}$ ，预测可提高采收率 20.4%。

3.3 火驱跟踪调控技术

在跟踪效果评价及调整中，逐渐形成了火驱跟踪评价及调控技术。

(1) 多种资料相结合，判定燃烧模式。

根据产出气体组分、火驱前后原油黏度变化及地层温度、压力的变化综合判断燃烧状态；从 G 块 2010 年产出气体监测数据来看，氧气的利用率均大于 85%，说明燃烧充分，氧气的利用率高；一线井视氢碳原子比在 0~4。

从产出气体组分分析资料看，位于注气井连线的上倾部位的油井产出气体 CO_2 含量以小于 10% 为主，视氢碳原子比以大于 3 为主；而位于注气井连线的下倾部位的油井产出气体 CO_2 含量以大于 10% 为主，视氢碳原子比以小于 3 为主，个别方向有突进现象。

(2) 紧密跟踪生产动态，判定油井受效方向。

从见效井平面分布来看，见效井主要位于构造低部位，该部位目前地层压力低、吞吐阶段累计产油量高。下倾方向油井比上倾方向油井产气量低、产油量高，这正好证实了高倾角油层火驱气体超覆和重力泄油的双重作用。

总的来看，火驱生产井目前均见到了不同程度的效果，日产油均有所上升。

(3) 定量描述燃烧前缘波及状态，掌握燃烧前缘推进速度。

总的来看，燃烧前缘推进方向性较强，井距小，储层物性好、地层亏空大的方向燃烧前缘推进速度快。火线呈舌状、层状推进，推进速度不均匀。

单层单向突进是影响直井网火驱成败的重要因素，这种单向窜道严重影响火线的均匀推进及火驱平面、纵向动用程度，影响直井网火驱的最终采收率。

(4) 探索了火驱调控技术，有效指导现场火驱生产。

G 块厚层块状油藏火驱开发作为辽河油田正在试验的一种新技术，在实施中必然会遇到气窜、纵向动用不均匀等问题影响火驱开发效果，油藏工程设计结果需要根据现场实施动态进行不断的调整，从而降低厚层块状油藏吞吐后期非均质性对火烧前缘推进方向、速度、波

及厚度所产生的影响。

研究表明,采取完善井网,利用水平井改善纵向动用程度,吞吐引效、火烧引效,提高排液量,加深泵挂,降低注气量,提高气窜油井的产量等措施可有效改善火线波及状况,提高火驱开发效果。目前现场有4口井进行了加深泵挂措施,4口井进行吞吐引效,2口井进行了火烧引效,措施实施后取得了明显的效果,措施后日产油增加1~8t。

3.4 初步掌握直井水平井组合火驱设计技术

厚层块状稠油油藏采用直井网火驱开发,火线方向性突进、气窜控制难度大,地质储量损失将较大;若能有效控制气窜、火窜,提高火驱纵向波及效率、降低火线超覆速度,火驱在厚层块状稠油区块将会取得较好的经济效益和社会效益。

根据G块目前现状,选择了三种直井水平井组合重力火驱的井配置关系。数模研究结果表明,侧向火驱见效快,采油速度高。

以注气速度优选为例,空气注入速度与方案要求的开发期限有关,注气速度大,燃烧速度就快,完成方案的期限也短。但注气速度过大,又容易发生火窜和气体外逸,造成空气耗量增大,体积扫油系数降低,使火驱成本升高;注气速度小时,燃烧速度慢,火线温度低,甚至会造成油层局部熄火的可能。一般火驱方案中,根据计算公式,在保证燃烧的前提下,选用变速、偏低的注气速度为宜。

空气注入速度取决于对油层燃烧速度的要求。国内外室内研究和先导试验表明:维持油层正常燃烧的燃烧速度一般在0.04~0.16m/d。在一定的燃烧速度下,空气注入速度与火线距离成正比,而油层燃烧过程中火线距离是不断扩大的,因此,火驱方案设计是根据正常的燃烧速度范围,来确定各个阶段恒定的空气注入速度。由于各阶段的空气注入速度保持不变,其燃烧速度和通风强度则随着火线距离的增加而逐渐下降,降至维持油层稳定燃烧的极限值时,再增加空气注入速度,并使其恒定,转入后一燃烧阶段。

3.4.1 初期注气速度优选

在物模研究的基础上,可以利用下列计算公式计算不同阶段的注气速度。

$$\text{燃烧体积: } V = \pi(R^2 - r_1^2)h\rho$$

$$\text{空气量: } Q_a = VA_1$$

$$\text{燃烧时间: } t = \frac{R - r_1}{V_f}$$

$$\text{注气速度: } q_o = \frac{Q_a}{t}$$

$$\text{通风强度: } \phi_f = \frac{Q_a}{48\pi Rh}$$

上述式中 r_1 ——套管外半径,取0.089m;

h ——油层有效厚度, m, 取9~11m;

ρ ——垂直燃烧率,取0.75;

A_1 ——燃烧率,取275~578m³/m³ (物模提供);

R ——火驱不同阶段的距离, m。

燃烧速度一般在0.04~0.16m/d,火线推进速度小于0.04m/d容易熄火,火线推进速度大于0.16m/d容易沿高渗层气窜。

借鉴 G 块直井火驱初期通风强度 $1.93\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; White Sands 先导试验, $3.3\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 经验值 $0.6 \sim 2\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 确定侧向火驱初期通风强度 $2.7\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 即初期注气速度 $8000\text{m}^3/\text{d}$ 。

3.4.2 最大注气速度优选

模拟结果表明, 随着最大注气速度的降低, 火烧生产时间增长, 累计产油量和采出程度提高, 但采油速度降低。综合考虑, 推荐单井最大注气速度为 $30000 \sim 40000\text{m}^3/\text{d}$ (图 4)。

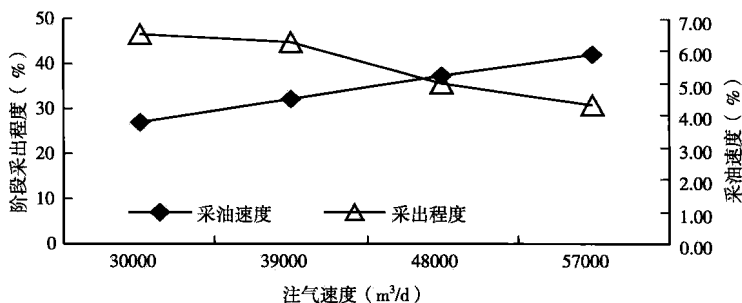


图 4 不同最大注气速度开发效果对比图

侧向重力火驱操作参数优选结果为点火温度 500°C 以上; 初期注气速度 $8000\text{m}^3/\text{d}$, 单井初期通风强度 $2.7\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 最大注气速度 $30000 \sim 40000\text{m}^3/\text{d}$, 折算通风强度 $1.5\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 目前地层压力 $3 \sim 4\text{MPa}$ 下, 注气压力为 $4.5 \sim 6.0\text{MPa}$, 推荐最大注气压力为 9MPa ; 水平井最大排液量为 $60\text{t}/\text{d}$, 过低的排液速度起不到调整剖面的作用, 过大的排液速度则会导致火线过早突破。

3.5 实施效果

G 块 L_5 油层于 2008 年 5 月转火驱开发, 截至目前, 火驱共转注气井 10 口, 日注气 $15.7 \times 10^4\text{m}^3$, 日产油 46.1t , 累计注气 $10253 \times 10^4\text{m}^3$, 累计产油 $5.1 \times 10^4\text{t}$, 累计空气油比 $2009.6\text{m}^3/\text{t}$ 。平均单井日增油 2.3t , 火驱井组一线井阶段增油 $1.8 \times 10^4\text{t}$, 阶段空气油比 $1955\text{m}^3/\text{t}$ 。

4 结论与认识

- (1) 水平井段温度有不同程度升高, 夹层不发育处, 温度上升幅度大。
- (2) 根据生产经验, 水平井完井层位下移 20m 左右, 可以降低气窜速度。
- (3) 根据研究结果, 在 G 块规划直平组合侧向重力火驱井组 22 个, 预计比直井网火驱提高采出程度 $5\% \sim 10\%$ 。
- (4) 通过厚层块状、深层—特深层稠油油藏火驱技术储备、探索到成功应用, 预计 $17679 \times 10^4\text{t}$ 厚层块状稠油储量可以动用, 增加可采储量 $3530 \times 10^4\text{t}$, 具有可观的推广应用前景。

参考文献

- [1] [美] 帕拉茨 M. 热力采油 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1989.
- [2] 岳清山, 王艳辉. 火驱驱油采油方法的应用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.

- [3] 霍广荣, 李献民, 张广卿. 胜利油田稠油油藏热力开采技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- [4] 王弥康. 火驱热力采油 [M]. 东营: 石油大学出版社, 1998: 57 – 72.
- [5] Grabowski J W, Vinsome P K, Lin Ran C, et al. A fully implicit general purpose finite – difference thermal model for in – situ combustion and steam [R]. SPE8396, 1979.
- [6] 周校平, 张晓男. 燃烧理论基础 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2001.
- [7] 张敬华, 杨双虎, 王庆林. 火驱采油 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.

辽河油田重点勘探领域潜力分析及规划部署

李晓光 单俊峰 回雪峰 李五金 胡振华 高 敏 刘志江 杨罗万

摘要 本文通过对辽河油区资源潜力分析、重点勘探领域潜力分析,明确了辽河油田下步勘探的重点区带及部署层次;并通过开展储量、地震资料采集、探井数量和进尺等主要规划指标部署依据研究,科学地制定出了油气勘探中长期发展规划,有效地指导了辽河油田勘探持续发展的顺利进行。

1 引言

辽河油田经过 40 多年的勘探开发,目前勘探难度越来越大,勘探目标越来越复杂,油田持续稳产发展面临许多挑战,在勘探领域和勘探技术上也面临着许多复杂问题,因此突出重点凹陷和重点区带,开展重点勘探领域分析;考虑当前,兼顾长远,实施勘探可持续发展战略,制定合理的油气勘探中长期发展规划对于辽河油田是当务之急。

2 重点勘探领域潜力分析

2.1 待探油气远景资源分析

截至 2010 年底,辽河探区累计探明石油地质储量 $24.6 \times 10^8 \text{ t}$,探明天然气地质储量 $2139.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ (其中气层气 $733 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、溶解气 $1406.8 \times 10^8 \text{ m}^3$)。根据三次资评研究结果,石油、天然气远景资源总量分别为 $46.4 \times 10^8 \text{ t}$ 、 $4010 \times 10^8 \text{ m}^3$,石油、天然气探明程度分别为 53.0%、53.4%,待探石油远景资源量 $21.8 \times 10^8 \text{ t}$,其中陆上 $13.5 \times 10^8 \text{ t}$ 、辽河滩海 $4.7 \times 10^8 \text{ t}$ 、辽河外围 $3.6 \times 10^8 \text{ t}$;待探天然气远景资源量 $1870.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中陆上 $1160.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、辽河滩海 $663.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、辽河外围 $46.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因此,辽河油田仍然具有较好的资源基础(表 1)。

表 1 辽河探区三次资评资源现状

地区	石 油				天 然 气			
	远景 资源量 (10^8 t)	探明 储量 (10^8 t)	探明率 (%)	待探 资源量 (10^8 t)	远景 资源量 (10^8 m^3)	探明 储量 (10^8 m^3)	探明率 (%)	待探 资源量 (10^8 m^3)
西部凹陷	23.3	16.48	70.7	6.82	1710	1210.1	70.8	499.9
东部凹陷	6.5	2.31	35.5	4.19	960	553.5	57.7	406.5
大民屯凹陷	5.7	3.24	56.8	2.46	480	226.2	47.1	253.8
辽河陆上小计	35.5	22.03	62.1	13.47	3150	1989.8	63.2	1160.2

续表

地区	石 油				天然气			
	远景 资源量 (10^8 t)	探明 储量 (10^8 t)	探明率 (%)	待探 资源量 (10^8 t)	远景 资源量 (10^8 m ³)	探明 储量 (10^8 m ³)	探明率 (%)	待探 资源量 (10^8 m ³)
辽河滩海	6.3	1.63	25.9	4.67	800	136.1	17.0	663.9
辽河外围	4.6	0.94	20.4	3.66	60	13.9	23.2	46.1
辽河油区合计	46.4	24.60	53.0	21.80	4010	2139.8	53.4	1870.2

2.2 重点领域潜力分析

多年的勘探实践和近期的综合研究表明,辽河油田仍然具有较为广阔的勘探领域。

2.2.1 辽河坳陷陆上基岩具有广阔的勘探空间

辽河坳陷陆上基岩是指埋藏在古近系之下较老的火山岩、变质岩以及沉积岩,包括具有“山”形的潜山和不具“山”形的地质体。多年的勘探实践证实,基岩是辽河坳陷的主要勘探目标之一,已在欢喜岭、曙光、兴隆台、前进、静安堡、茨榆坨等多个潜山发现油藏,累计探明石油地质储量 3.67×10^8 t。其勘探大致经历了三个阶段,即从早期的高、中潜山油气藏勘探为主到“十五”期间的低潜山油气藏勘探,发展到“十一五”期间的潜山内幕油气藏勘探。

“十一五”以来,加强了基岩成藏条件、储层评价、油气层保护与油气层改造研究和勘探实践,形成了基岩内幕成藏理论和相应的配套勘探技术。大民屯、兴隆台、高升和中央凸起南部等潜山勘探的相继成功,进一步证实了辽河坳陷基岩成藏具有得天独厚的有利条件:一是烃源岩广泛分布,排烃强度大,油气多源、多期充注,有利于古潜山成藏;二是“源岩—基岩”组合及断层活动形成的以侧向为主的多元“供油窗口”为油气成藏创造了有利条件;三是长期的沉积间断及多期次的构造运动形成了类型多样的储集体系。同时勘探思路实现了两个转变,即从寻找潜山风化壳油藏转向寻找潜山内幕油藏,再从内幕油藏勘探发展到基岩油藏勘探,勘探领域得到极大拓展。

从辽河坳陷三大凹陷勘探程度分析,辽河西部凹陷古近—新近系探井密度高达 0.6 口/ km^2 ,而基岩探井密度仅为 0.15 口/ km^2 ,辽河大民屯凹陷探井密度达 0.4 口/ km^2 ,基岩探井密度仅为 0.28 口/ km^2 ,辽河东部凹陷探井密度达 0.2 口/ km^2 ,基岩探井密度仅为 0.06 口/ km^2 ,基岩勘探程度很低,是深化勘探的重要领域之一。从油源条件、构造条件、油气成藏特征等方面综合评价,辽河坳陷西部潜山带、中央凸起、大民屯基岩、东部中古生界均为下步探索的有利地区。

2.2.2 辽河坳陷陆上古近系岩性是勘探突破的重要领域

古近系是辽河坳陷油气勘探的主力层系,陆上有利勘探面积 6660 km^2 ,已发现东营组、沙一+二段、沙三段、沙四段等 11 套含油层系,累计探明石油地质储量 18.5×10^8 t。从深度分布看,探明储量以浅层为主,大于 3000 m 的中深层分布很少;从油藏类型看,以构造和岩性构造为主;从近年来新增探明储量油藏类型分类看,地层岩性油气藏所占比例呈增长趋势。这也是油田发展的历史必然,经过 40 多年的勘探,主要正向构造带的埋深相对较浅、较易发现的构造油藏已经基本查明,剩余的多为埋藏较深、不易发现的地层岩性油气藏。

层序格架、构造演化史、沉积体系时空展布研究认为辽河坳陷具有发育地层岩性油藏的有利条件：(1) 发育多源多期多种类型大规模砂岩体，为岩性油气藏的形成提供了先决条件；(2) 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；(3) 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，在主要生烃洼陷的主力生烃层系内及周边存在大的浊积砂岩体，具有较大勘探前景，是辽河油田今后增加储量和稳定产量的重要领域。

从油源条件、沉积储层条件、构造背景及主要成藏模式等方面综合评价，西部凹陷清水—鸳鸯沟洼陷及周边，西部凹陷东部陡坡带，东部凹陷南段中深层，东部凹陷新开—董家岗斜坡带，大民屯凹陷沙三段、沙四段等区带为古近系下步勘探的重点区带。

2.2.3 辽河滩海具备形成大中型油气田的条件

“十一五”期间，辽河滩海在开展三维地震资料重建的基础上，按照“整体研究、整体评价、整体部署”的工作思路，重点开展以下四方面地质综合研究工作：一是建立全区三级层序地层格架，将区内新生界划分为5个二级层序和13个三级层序；二是开展层序格架内区域构造解释，编制了古近系底界、沙一二段底界和东二段底界等六个层系构造图；三是开展沉积体系及储层研究，确定滩海地区发育有四种沉积体系，七种相类型；四是重新评价资源潜力，石油总资源量可达 $13.15 \times 10^8 \text{t}$ 。

综合研究显示，滩海地区中、东、西三大构造单元均具备形成大中型油气田的基本石油地质条件，仙鹤构造、海南东坡、盖州滩断裂构造带、太葵深层和海月潜山目标具有较大勘探潜力，是近期勘探的重点。

2.2.4 外围中生代盆地是勘探的重要接替领域

辽河外围盆地经历了20多年的油气勘探，大致经历了区域普查、勘探发现、勘探徘徊和“下洼找油”四个勘探阶段。近期外围盆地经过石油地质条件及成藏规律的不断深化研究，在“下洼找油”的勘探思路指导下，相继在元宝山、奈曼、陆家堡和张强凹陷获得了成功，并取得了很好的勘探效果：在元宝山凹陷上报探明天然气地质储量 $3.3 \times 10^8 \text{m}^3$ ，奈曼凹陷上报探明石油地质储量 $2034 \times 10^4 \text{t}$ ，张强凹陷上报探明石油地质储量 $2039 \times 10^4 \text{t}$ ，陆家堡凹陷上报预测石油地质储量 $1002 \times 10^4 \text{t}$ 。

实践表明，外围盆地虽然凹陷较小，但仍具有规模发现的潜力，是辽河油田勘探的重要接替领域。根据资料准备和综合研究结果，陆家堡凹陷、龙湾筒凹陷、建昌盆地等地区具有较大的勘探潜力，是近期勘探的有利目标。

3 石油预探和天然气勘探业务发展规划

3.1 发展战略、目标及规划编制的原则

根据目前资源接替紧张、后备战场准备不足的严峻形势，辽河油田将坚定信心、迎难而上，以科学发展观为指导，以储量发现为主线，以经济效益为中心，以适用新技术为手段；进一步解放思想，深化老区地质认识，甩开预探新层系，大胆探索新领域；优化项目设置，加强过程管理，降低勘探成本，实施油气勘探可持续发展战略。其内涵应包括两个层次：一是立足辽河陆上老区深化勘探，充分挖掘油气资源潜力；二是加大滩海、外围勘探投入，争取获得重大发现和突破。