

辽河油田勘探开发研究院优秀论文集

(2011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

(2011 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 2011 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。作者均长期从事油田勘探开发工作, 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的研究人员参考阅读。

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. 2011 年/张方礼主编.
北京: 石油工业出版社, 2013. 4
ISBN 978 - 7 - 5021 - 9481 - 9

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 - 54

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 025665 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

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

2013 年 4 月第 1 版 2013 年 4 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 13.75

字数: 330 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（2011 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 于 涛 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

2011 年,勘探开发研究院认真贯彻落实油田公司一届三次职代会和公司党委一届四次全体会议精神,深入开展“打造辽河新形象,提升油田软实力,实现事业新发展”主题教育实践活动,持续推进科技创新,全年部署预探井 49 口,完钻 40 口,新获工业油气流井 11 口;部署滚动、评价井 26 口,开发井 237 口。在资源接替紧张、评价目标复杂的严峻形势下,实现新增探明石油地质储量 $3237 \times 10^4 \text{t}$ 、控制储量 $4677 \times 10^4 \text{t}$ 、预测储量 $4952 \times 10^4 \text{t}$,分别完成年度计划的 108%, 117% 和 124%。

油气勘探按照“主攻潜山、发展岩性、甩开滩海和外围、推进深海”的勘探部署原则,突出规模效益勘探,深化地质综合研究,在潜山、岩性、非常规等勘探领域取得了丰硕成果。开发按照“增储量、建产能、转方式、调结构、抓注水、强基础”六项重点工作,持续加强关键技术研究,有力提升了油田持续稳定发展。

为总结 2011 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
2012 年 11 月

目 录

辽河油田不同类型油藏水平井精细设计与应用

..... 龚姚进 杨彦东 荐 鹏 海东明 程建平 等 (1)

辽河油区已开发油田可采储量研究与评价

..... 李铁军 于 军 刘 勇 陈 超 王飞宇 等 (7)

辽河油田高性能地震资料处理平台构建

..... 郭 平 张国俊 付正秀 伍 羿 闫连彬 等 (18)

辽河油田剩余控制预测储量评价研究 ... 徐晓光 回雪峰 程鹏飞 徐 君 商维斌 等 (27)

辽河油田深部调驱配方体系设计与应用

..... 于 涛 赵庆辉 刘家林 肖传敏 周雅萍 等 (34)

辽河油田化学驱油技术研究与应用 武 毅 王奎斌 李 蔓 唐海龙 温 静 等 (44)

辽河东部地区天然气勘探潜力评价及区带优选

..... 毛俊莉 杨一鸣 汪百齐 黄双泉 李宗亮 等 (49)

HLH 地区铀成矿控制因素分析及规模勘探

..... 王世亮 咎国军 杨松林 罗 林 朱世娇 等 (59)

大民屯凹陷基岩油气富集特征研究 牟 春 何绍勇 杨 雪 张子璟 (64)

储层精细刻画与预测技术 闫军生 樊佐春 (72)

中深层蒸汽驱、SAGD 开发动态关系研究与应用

..... 王中元 户昶昊 宫宇宁 赵春梅 张丽萍 等 (76)

辽河外围义县组火山岩成藏条件及勘探潜力

..... 张 斌 宫振超 张学武 张 浩 裴家学 等 (85)

高升潜山低信噪比资料精细处理方法研究

..... 吴佳乐 郭 平 高树生 高 源 刘文霞 等 (97)

水驱砂岩油藏深部调驱技术研究与应用 盛 聪 张晓露 赵凡溪 董丽娜 赵 凡 (105)

冷东一雷家地区砂砾岩刻画及勘探目标评价

..... 张泽慧 陈富新 高荣锦 王宇斯 张海栋 等 (110)

注水开发试验技术在特殊储层中的研究与应用

..... 赵庆辉 张艳芳 李亚文 王 辉 张 宏 (122)

高成熟探区精细勘探——以西部凹陷西斜坡为例

..... 张菊香 张东伟 李秀明 张 戈 朱红梅 等 (131)

NB 油田开发调整技术对策研究与实践 王有慧 冉永良 满安静 王 艳 (140)

ZJ 三维区石油地质条件及勘探目标优选 王晓辉 (153)

中央凸起南部基岩油气成藏主控因素及目标评价

..... 康武江 刘 敬 于海波 潘 克 杨景勇 (161)

大民屯凹陷太古界潜山测井评价应用研究

..... 李铁军 闫家宁 马 彬 任 好 王 哲 (172)

折射波静校正技术在辽河地区的应用研究

..... 冯海涛 聂 爽 柳世光 季占真 杨显斌 等 (179)

深层稠油油藏回形井网蒸汽驱开采技术研究与应用

..... 孙洪军 刘立成 孙鹤天 林中阔 孙 念 等 (187)

大民屯凹陷胜西低潜山油藏特征综合研究

..... 李鲁斌 汪淑娟 吴志斌 聂春玲 王 玲 (192)

辽河坳陷变质岩潜山岩性分析与储层评价 崔向东 韩洪斗 (197)

辽河油田不同类型油藏水平井精细设计与应用

龚姚进 杨彦东 荐 鹏 海东明 程建平
崔丽静 马 凤 陈东亮 杨 靖 吴飞勇

【摘 要】 结合辽河油田持续推进水平井规模应用、不断扩大水平井应用领域的实际,以辽河油田历年水平井资料收集整理、分析统计为基础,围绕“精细地质体描述、精细部署设计、精细油藏研究、精细跟踪调整”四个方面,系统总结了不同类型油藏水平井优化部署、精细设计的主要做法,开展了七项专题研究,形成十项研究技术,为提高油藏认识精度、扩大水平井应用领域提供了有力支持。

1 引 言

水平井钻井技术是自 20 世纪 80 年代迅速发展起来的一项综合性配套技术,综合了多种学科的一些先进技术成果。目前国际上水平井钻井技术已日臻成熟和完善,广泛应用在薄层油藏、天然裂缝油藏、存在气锥和水锥问题的油藏、存在底水锥进的气藏等油气藏类型中,在开采重油、水驱以及其他提高采收率措施中也正在发挥越来越重要的作用。

截至 2011 年底,辽河油田累计完钻水平井 1000 多口,建成原油生产能力近 $400 \times 10^4 \text{t}$,累计生产原油 1000 多万吨,形成水平井“总量超千口、累产超千万”的开发格局,尤其是在“十一五”期间,辽河油田充分发挥水平井的技术优势和井型特点,持续推进水平井规模应用,不断扩大水平井应用领域,强力支撑了千万吨油气产量持续有效稳产。

2 不同类型油藏水平井精细设计

依据辽河陆相沉积储层横向变化大、岩性多样、构造破碎、油水关系复杂、油品性质多样的特点,区分不同油藏类型、不同开发阶段、不同开采方式,明确水平井部署设计要点,开展精细部署设计实践。

2.1 精细地质体描述,夯实水平井优化部署基础

2.1.1 依托精细油藏描述成果,强化基础研究

多年来,以满足辽河油区产能建设和转换开发方式工作需要为目标,分阶段合理安排精细油藏描述工作量,共在 111 个单元开展精细油藏描述,覆盖石油地质储量 10 多亿吨,不断强化基础研究,有效指导了油田开发、油田综合治理与二次开发工作,编制了科学合理的开发方式转换方案和综合调整方案,增加了可采储量,夯实了老油田稳产基础,提高了油藏管理水平,拓展了老油田新的增长空间,促进了老油田的可持续发展。

2.1.2 重构地下认识体系,提高油藏认识精度

重新建立对地下的认识体系,需要精细地应用多学科理论知识,发展相应的新技术,深

化油藏描述和量化地下剩余油的分布,特别要准确地预测相对富集区的具体位置和规模的大小[据韩大匡院士,2009年9月12日国际稠油技术论坛(盘锦)]。

针对曙一区超稠油油藏类型多样、地质体复杂,并且已进入蒸汽吞吐中后期,高轮低效的开发矛盾日益突显,可部署有利区域油藏条件变差,研究难度和实施风险不断增加的特点,开展以深化油藏地质特征和量化剩余油分布规律为主要内容的重构地下认识体系研究,充分应用三维地震数据体和高密度井网资料,深化油藏地质特征研究,在全区统层对比、构造、储层及油水分布规律研究的基础上,重点进行了密井网条件下单砂体精细描述与分类评价研究、水平井开发效果评价及影响因素分析、水平井部署技术经济界限研究、油藏工程优化设计和以SAGD、蒸汽驱为主导的开发方式转换等方面的研究。通过量化地下剩余油分布,明确超稠油开发部署潜力,加强井位优化部署论证和精细设计,提供优质井位,水平井实施后明显改善了 S_{1+2} 段兴隆台油层的开发效果,提高了油藏动用程度。

2.1.3 开展不同规模地质体研究,准确定位潜力目标

任何地质体都是在地质历史中,在一定的空间经历各种地质作用而形成的。因此总可以从宏观到微观,分成不同层次来观察、分析。随着油田开发的逐步深入,油藏开发地质特征的研究也需要从宏观向微观深入,准确定位潜力目标。

2.1.4 构建多专业工具软件联合工作平台,提高工作效率与精度

油田进入开发中后期,井数众多,基础数据多,资料管理困难大,开发地质研究工作量大。随着计算机的普及应用,基础数据录入由初期的手工录入转变为数字化录入,节省了工作时间,保证了录入数据的准确性,方便查找和使用。形成数据库,实现数据备份、统计等功能。基础数据质量控制程度提高,如Petrel软件的三维可视化窗口可以直观检查井斜数据、分层数据等。基于静态地质数据管理及统计分析系统、辽河油田开发静态数据查询系统、长城录井信息服务网的基础数据平台,LandMark地震解释软件、Petrel地质建模软件、多井综合分析软件、MAPGIS地理信息系统软件等多种专业工具软件相互补充、相互约束,提高了地质图件编绘精度。

2.2 精细水平井设计,确保水平井开发效果

针对辽河断陷盆地发育油藏类型多,且纵向多套叠加、地质条件复杂的特点,首先明确不同类型油藏的部署设计要点,开展水平井精细部署设计研究,确保钻井实施及开发效果。

2.2.1 中厚互层状油藏水平井部署设计

以曙一区超稠油、齐40块莲花油层、锦16块于楼油层为代表的中—厚互层状油藏大多数已经由直井吞吐进入“直井+水平井”组合吞吐阶段,在直井间部署加密水平井开发效果较好,但主要潜力区由区块主体向边部转移,主要潜力层由厚层向薄层转移,而薄层多数存在储层横向变化快的特点,因此,需要细分层系,精细刻画直井无法有效动用的3m以上主力单砂体展布特征,为水平井部署提供有效的开发单元;在对单砂体的厚度、长度、宽度、地质储量等的描述基础上,对目标砂体进行分类评价,确定有利分布区;利用区块完钻并投产水平井相关参数,应用数值模拟技术,建立现有技术经济条件下的稠油水平井部署界限,为优化部署提供有力依据;进而,针对不同类别单砂体发育特征,优选井型,开展相应的优化部署和精细设计研究。实践表明,该类油藏水平井部署设计要点包括单砂体追踪描述、水平段轨迹精细设计、水平井部署界限研究、井型优选、井网组合设计等。

2.2.2 薄层油藏水平井部署设计

以西斜坡、锦99块兴隆台油层、注83块东一段油层、注70块兴隆台油层为代表的薄层

稠油油藏,有些因井控程度低,油藏地质特征认识不够,潜力区、潜力层寻找难度大,有些因有效油层认识不清,导致开发矛盾突出,开发此类油藏水平井设计要点为优选地震属性、识别有效油层等明确有利区域、有利层位。

2.2.3 边底水油藏水平井部署设计

以冷 41 块 S_3^2 油层、欢 127 块兴隆台油层等为代表的边底水油藏,利用直井开发单控储量低、水淹速度快、开发效果差,而水平井具有延缓边底水推进的特点,针对该类油藏,开展了深化油水分布特征研究,落实有效油层识别标准,明确油水界面位置,对水平段长度、纵向位置、延伸方向、目的层油层厚度、避水厚度、避水距离等设计要点,达到利用水平井延缓边水推进、底水脊进,有效动用主力油藏边部边底水区域边际储量的目的。

2.2.4 潜山油藏水平井部署设计

潜山油藏具有埋藏超深、油层巨厚、岩性复杂、裂缝发育等一系列特点,在突破潜山“三分一体”认识的基础上,明确井型优选与井网组合设计为水平井设计要点,以水平井相对直井可以大大提高泄油面积,能够与各种裂缝沟通,从而改善产能的优势,创新应用水平井和复杂结构井,实施“纵叠平错”立体开发,分“四段七层”部署井网,采用直井控制下的水平井为主体的开发。

2.3 精细油藏研究,利用水平井提高方式转换区块采收率

目前,辽河油田大多数主力开发区块已经进入开发中后期,面临产量递减,急需进行开发方式转换,已经成功开展的火驱、蒸汽驱、SAGD 等方式转换试验取得了较好效果。为论证新的开发方式可行性,开展精细油藏地质研究,优选开发方式,利用水平井技术优势,优化油藏工程设计等,进一步提高区块采收率。

2.3.1 水平井在火驱开发中的应用(火驱辅助重力泄油与侧向火驱)

目前研究应用水平井的火驱技术主要是 THAI 和 COSH 两种技术。目前 COSH 技术还处于室内研究阶段。THAI 技术又称从脚尖到脚跟的注空气技术。该方法将火驱技术与水平井理论结合起来,可获得非常高的稠油采收率。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。

针对目前已经开展的火驱开发试验特点,如直井网火驱平面及纵向动用程度低等,探寻待转火驱开发区块的最优方式及已转火驱开发方式的改进,针对进入蒸汽吞吐开发后期开发矛盾日益突出,待转火驱开发区块曙 1-38-32 块,通过开展精细油藏描述,系统研究构造、沉积、储层、隔夹层、油层发育等油藏地质特征,深入认识储层发育情况,精细研究隔夹层分布及储层非均质性特征,结合蒸汽吞吐开发动态,确定油层连通情况,深化剩余油分布规律研究,分小层量化剩余油分布,优选火驱有利层段,部署含水平井的试验井组,优化油藏工程设计,跟踪实施,改善油藏开发效果。

2.3.2 水平井在蒸汽驱开发中的应用(直平组合、双水平井组合)

蒸汽驱采油是稠油油藏经过蒸汽吞吐采油之后,为进一步提高采收率而采取的一项热采方法。蒸汽驱采油就是由注入井连续不断地往油层中注入高干度的蒸汽,蒸汽不断地加热油层,从而大大降低了地层原油的黏度,注入的蒸汽在地层中变为热的流体,将原油驱赶到生产井的周围,并被采到地面上来。

齐 40 块蒸汽驱实践表明:(1)主力受效方向厚层得到有效动用,但 10m 以上厚层的下

部动用较差;(2)非主力受效方向厚层下部仅为热水波及或未波及;(3)当有一定地层倾角时,剩余油主要在井组下倾部位。为挖潜厚油层底部剩余油、提高储量动用程度,鉴于水平井具有可以改变液流方向、提高蒸汽波及体积等技术优势,追踪刻画厚度大于10m的单砂体,通过垂向上在厚度较大的主力动用层底部和平面上井网不完善部位部署水平井,与早期直井井网组合完善注采井网,创新开展直平组合蒸汽驱研究,以提高采出程度。

针对以注70块为代表的利用水平井井网整体开发的薄层油藏区块,初期生产效果较理想,但由于薄层油藏水平井吞吐加热半径有限,吞吐中后期产量递减较快,生产效果变差,急需进行开发方式转换,应用历史拟合、数值模拟技术,优选开发方式、布井方式等,创新开展水平井组合蒸汽驱试验,提高了蒸汽波及体积。

2.3.3 水平井在SAGD开发中的应用(直平组合、双水平井组合与驱泄复合)

SAGD,即蒸汽辅助重力泄油,是国际开发超稠油的一项前沿技术。SAGD就是将蒸汽从位于油藏底部附近的水平生产井上方的一口直井或一口水平井注入油藏,被加热的原油和蒸汽冷凝液从油藏底部的水平井产出的采油方法,即向注汽井连续注入高温、高干度蒸汽,首先发育蒸汽腔,加热油层并保持一定的油层压力(补充地层能量),将原油驱至周围生产井中,然后采出。SAGD布井方式分直平组合和双水平井组合两种。

SAGD开发区块观察井资料显示:在隔夹层发育区域,位于隔夹层上部的油层动用程度较低;处在隔夹层下部的水平井产量低,分析认为受隔夹层发育影响,注汽井蒸汽腔较小,蒸汽扩散慢,连续注入蒸汽后,导致注汽井蒸汽腔压力上升,没有经过充分热交换,就被水平生产井采出,导致水平井日产油低。因此,开展了隔夹层判别、描述、刻画研究和隔夹层对SAGD蒸汽腔影响数值模拟研究,依据隔夹层影响程度和隔夹层发育状况,选取隔夹层发育区进行部署及油藏工程设计,优化注采配置关系,确保蒸汽腔扩展均衡,对注汽井射孔位置、注汽速率、蒸汽干度、生产井排液能力等注采参数进行了优化,创新开展驱泄复合开采实践。驱泄复合就是指在同一区域、同一层位,采用直井注汽,水平井与剩余直井共同采油,在直井与水平井之间是以重力泄油为主、蒸汽驱为辅的复合驱动,在直井与直井之间是以蒸汽驱为主、泄油为辅的复合驱动。驱泄复合实施后,夹层上部油层得到动用,提高了纵向储量动用程度。

2.4 精细跟踪调整,保证水平井油层钻遇率

2.4.1 建立部署区地质模型,开展水平井三维地质设计

以往,在井控程度较高情况下,对水平段轨迹的预测主要利用完钻井联井剖面实现,其实质是一种确定性建模,实际上,受多种因素控制,地下情况是不可能用一种方式描述清楚的。因此,我们以水平井部署目的层为对象建立了水平井部署区的三维地质模型,在该模型中设计水平段轨迹,与常规设计相互验证,实现水平井三维地质设计。

2.4.2 精细设计导眼井,降低水平井实施风险

导眼井是在钻水平段之前,为落实目的层顶、底界或油层发育情况,在水平段入口点前或入口点与端点之间设计的定向井,具有灵活多样、节省投资、提供资料翔实的特点。导眼井最早主要应用于薄层、储层发育不稳定、构造变化大、钻井控制程度低的水平井,通过重新确定水平段参数,以取得较好的实钻效果。目前导眼井已应用于落实特殊地质体、评价邻近圈闭油层发育情况、落实断块油水界面、为水平井提供准确入靶参数、设计取心确定目的层等,应用范围不断延伸、内涵不断丰富,从而提供更为综合、准确的油藏参数,降低了水平井实施风险。

2.4.3 将三维地震资料应用于薄层水平井设计与跟踪调整

依据井控程度,综合构造、沉积、储层、油层发育情况,利用三维地震资料、钻井、录井、测井资料,井震结合,充分利用具有空间连续性特点的三维地震资料指导薄层油藏水平井的轨迹设计与跟踪调整,可以提高钻井成功率。

2.4.4 加强水平井现场随钻跟踪调整,实现水平井随钻评价与实时地质建模

综合运用钻时录井、气测录井、岩屑录井等各种现场地质录井资料,结合实时钻井参数,跟踪水平段实钻轨迹钻遇储层、油层情况,及时掌握实钻轨迹与设计轨迹偏差情况,对钻前地质模型进行实时修正。

随钻测量 MWD、随钻测井 LWD、斯伦贝谢地质导向技术 GST、GVR 等技术逐渐成为水平井钻井成功的保障,为满足双水平井 SAGD 施工需求,在注汽井钻井现场成功应用了磁导向钻井技术 MGT。

3 应用领域及研究成果

针对不同类型油藏开展水平井部署、设计、跟踪调整等研究,使水平井技术在辽河油田滚动勘探、产能建设、难采储量评价、重大开发试验、开发方式转换等领域得到大规模推广应用,均取得较好的效果。

(1)应用水平井评价开发升级探明低于储量厚度下限的薄层稠油储量,实现区域储量升级与“勘探开发”一体化。西斜坡薄层稠油整体上报探明石油地质储量 1000 多万吨,在锦 612 断块区实现水平井整体规划部署开发。

(2)规模实现曙一区超稠油产能续建,产能建设成效显著。通过单砂体追踪刻画与分类部署、精细设计,实现分层系开发基础上的水平井分层开发,新增部署 S_{1+2} 段油层水平井 200 余口,预计增加可采储量 300 多万吨。

(3)与开发核心技术相结合,积极推进稠油开发方式转换,有力支撑重大开发试验。杜 84 块 SAGD 通过直平组合、双水平井组合,创新驱泄复合开发方式,实现厚层块状超稠油油藏转换方式开发。同时在 8 个区块利用水平井开展方式转换开发试验,预计增加可采储量 200 多万吨。

(4)创新建立“纵叠平错”立体开发模式,应用水平井实现潜山油藏高效开发。兴隆台潜山共完钻水平井近 70 口,开井 50 多口,平均单井日产油近 50t,是直井的 2~3 倍。

(5)推动难采储量经济有效开发,降低储量动用界限,为产能建设提供有效井位补充。2006 年以来共评价动用难采储量区块 20 个,新增动用地质储量 3000 多万吨,增加可采储量 500 多万吨。

4 认识

(1)水平井开发技术的发展,不仅成为油田提高储量动用率、油田采收率和单井产能的有效手段,还形成了一套科学高效的管理模式,造就了一支水平井科研队伍。

(2)“转换思路、拓展理念”是水平井得以发展和规模应用、充分发挥重要作用、不断扩大应用领域的关键。

(3)水平井部署设计技术发展永无止境,不仅需要抓住关键环节、精细研究,更需要多专

业联合攻关、多部门协调一致,方能不断为油田开发设计出精品工程。

参 考 文 献

- [1] 张方礼,等. 辽河油田勘探开发研究院优秀论文集(2010 年)[M]. 北京:石油工业出版社,2012.
- [2] 张方礼,等. 辽河油田勘探开发研究院优秀论文集(2009 年)[M]. 北京:石油工业出版社,2011.
- [3] 耿立峰. 辽河油区超稠油双水平井 SAGD 技术研究[J]. 特种油气藏,2007,14(1):55-59.
- [4] 岳清山,王艳辉. 火驱采油方法的应用[M]. 北京:石油工业出版社,2000.
- [5] 吴向红,等. 水平井蒸汽辅助重力驱油油藏模拟方法[J]. 计算物理,2002,19(06):549-552.
- [6] [美]洪 KC. 蒸汽驱油藏管理[M]. 北京:石油工业出版社,1996.

辽河油区已开发油田可采储量研究与评价

李铁军 于 军 刘 勇 陈 超 王飞宇 黄祥光
张俊杰 郑宏英 郭秀文 陈淑凤 崔春雨 苏德宁

【摘 要】 本文以历年新增可采储量和阶段可采储量标定为基础,以不同开发方式、不同开发阶段的不同开发技术效果评价为切入点,完善可采储量计算方法,量化不同开发技术对提高采收率的贡献,分类评价不同类型油藏可采储量,明确开发潜力,为油区千万吨稳产提供资源保障。

1 引 言

可采储量评价是评判开发技术水平的重要手段,是夯实储量资源基础、促进开发管理的重要工作。在原油千万吨再稳产十年的背景下,开展已开发油田可采储量研究与评价的意义尤为重大。一是辽河油区多油品多开发方式共存,行业标准中缺乏特稠油、超稠油蒸汽吞吐及稠油转换开发方式的标定方法,开展可采储量计算新方法研究,满足客观评价开发水平需求;二是量化评价不同开发技术对提高采收率的贡献,有效指导新区高效开发,对于老区同类型油藏具有借鉴意义;三是分类评价已开发油田采收率,落实可采储量潜力,有效减缓老区递减,为油区千万吨持续稳定发展提供科学依据。

2 辽河油区已开发油田基本情况

截至 2011 年底,辽河油区已有 34 个油田投入开发建设,动用含油面积 797.79km^2 ,动用石油地质储量 $195016.13 \times 10^4\text{t}$,技术可采储量 $49469.08 \times 10^4\text{t}$,标定采收率 25.4%。共投产油井 18917 口,开井 10459 口,日产油 27290t,日产液 155521t,综合含水 82.68%,年产油 $993.09 \times 10^4\text{t}$,采油速度 0.52%,剩余技术可采储量采油速度 9.72%,累计产油 $39523.24 \times 10^4\text{t}$,采出程度 20.67%,技术可采储量采出程度 81.07%。投注水井 2477 口,开井 1790 口,年注水量 $3473.80 \times 10^4\text{m}^3$,累计注水 $77004.94 \times 10^4\text{m}^3$,月注采比 0.56,累计注采比 0.61,累计亏空 $49423.36 \times 10^4\text{m}^3$,综合递减 5.74%,自然递减 23.05%。

3 已开发油田可采储量评价存在的主要问题

3.1 可采储量计算方法不完善,无法满足客观评价开发水平需求

开发中后期可采储量的计算方法主要分成三大类:一是针对注水开发的稀油、高凝油、常规稠油油藏的计算方法,如水驱特征曲线法;二是针对注蒸汽开发的稠油油藏的计算方

法,如注采关系曲线法;三是适合各类型油藏的计算方法,如递减曲线法。行业标准中对于稀油、高凝油注水、普通稠油吞吐开发可采储量计算方法比较完善,且应用效果较好;而对于热采稠油的注采关系法,在近些年的应用中出现了明显的不适用性:注采关系法是在 20 世纪 90 年代初普通稠油大量投入开发时提出的,对于普通稠油普遍适用;但对于多种稠油多种开发方式共存的辽河油田,注采关系法对特稠油、超稠油的适用性较差,与开发状态明显不符。

3.2 油田改善开发效果的举措多样,定量评价对提高采收率贡献难度大

辽河油田多油品多开发方式共存,开发技术手段丰富,对提高采收率的贡献不一,体现出不同的开发效果:不同油藏类型主体开发技术不同,稀油、高凝油注水开发,稠油吞吐开发;同一油藏类型不同开发阶段,开发技术也不同,稠油早期蒸汽吞吐,中后期组合式吞吐,末期转换方式蒸汽驱、SAGD 等;同一开发阶段开发技术亦多样,转换方式、水平井应用、组合式吞吐等同期应用;对于单块而言,情况亦是如此。要量化评价不同开发技术对提高采收率的贡献,需要归类分析,难度大。

4 辽河油区已开发油田可采储量评价研究

4.1 已开发油田可采储量计算方法研究

4.1.1 特稠油、超稠油油藏计算方法研究

针对特稠油、超稠油油藏的开采特点,结合生产实践,在本次研究中,提出了修正注采关系曲线法和累计油气比曲线法两种方法,在 2011 年 6 月通过了股份公司专家组认定,进一步完善了辽河油区可采储量计算方法系列。

4.1.1.1 修正注采关系曲线法

美国材料试验学会(American Society of Testing Materials, ASTM)给出了石油的标准黏温关系:

$$\lg \lg(\nu + 0.8) = \lg \lg(\nu_1 + 0.8) - n \lg(T/T_1) \quad (1)$$

式中 n ——系数;

ν ——温度 T 条件下的运动黏度;

ν_1 ——温度 T_1 条件下的运动黏度。

蒸汽吞吐主要是利用注入蒸汽的热量,在油藏内产生升温降黏的效果。根据标准的黏温关系曲线,建立蒸汽吞吐累计注汽 N_s 与累计产油 N_p 的黏温模型:

$$\lg \lg N_s = a + b \lg N_p \quad (2)$$

将式(2)对时间求导:

$$\frac{Q_s}{\ln^2 10 \cdot N_s \cdot \lg N_s} = \frac{b Q_o}{\ln 10 \cdot N_p} \quad (3)$$

将吞吐油气比 $R_{os} = Q_o/Q_s$ 代入,整理得:

$$N_p = b R_{os} \times \ln 10 \cdot N_s \cdot \lg N_s \quad (4)$$

将式(4)代入式(2),整理得到:

$$(b-1) \lg \lg N_s + b \lg N_s + b \lg(b R_{os} \times \ln 10) + a = 0 \quad (5)$$

令: $X = \lg N_s$, $B = \lg(b R_{os} \times \ln 10)$, 代入式(5),可得:

$$(b-1)\lg X + bX + bB + a = 0 \quad (6)$$

根据实际动态数据,选择合适的数据区间,回归出式(2)的系数 a 和 b ,取极限油汽比 $R_{os} = 0.25$,通过迭代求解式(6)中的 X ,从而求得累计注汽量 N_s ,将 N_s 、 b 和 R_{os} 代回式(4),可以最终求得累计产油量 N_p ,此时 N_p 即是 $R_{os} = 0.25$ 对应的技术可采储量 N_R 。

对辽河油区特稠油油藏 8 个标定单元分别应用行业标准中的注采关系曲线法和新方法修正注采关系曲线法计算可采储量,结合标定单元的实际开发状况,对比分析结果表明:注采关系曲线法计算值明显偏低,修正注采关系曲线法计算值符合标定单元的开发现状,计算结果合理(表 1)。

表 1 修正注采关系法计算结果统计表

单元	层位	地质储量 (10^4 t)	年产油 (10^4 t)	累计产油 (10^4 t)	注采关系法		修正注采关系法	
					计算值 (10^4 t)	采收率 (%)	计算值 (10^4 t)	采收率 (%)
注 38	$E_3 d_2 d_3$ 、 $E_2 s_3$	3224	16.0	722.7	753	23.4	880	27.3
注 59	$E_3 d_3$ — $E_2 s_3$	1041	17.3	236.4	301	28.9	386	37.1
锦 25	$E_3 s_1^2$	799	2.4	196.3	204	25.5	221	27.7
冷 43	$E_3 s_{1+2}$	1222	2.3	204.7	205	16.8	229	18.7
冷 41	$E_2 s_3^2$	2189	10.7	409.0	418	19.1	515	23.5
冷 42	$E_2 s_3^2$	2993	14.6	451.0	467	15.6	584	19.5
曙 1-7-5	$E_2 s_3^2$	649	2.4	222.7	233	35.9	246	37.9
冷 136	$E_2 s_3$	70	0.4	10.1	19	27.1	28	40.0
合计 (采收率为 平均值)		12187	66.1	2452.9	2600	21.3	3089	25.3

4.1.1.2 累计油汽比曲线法

注蒸汽开发稠油的实践表明:任何处于蒸汽吞吐阶段的油藏,生产两周期以上,积累了一定的动态资料之后,累计油汽比(累计产油量与累计注汽量之比)与累计注汽量,在直角坐标系上具有较好的线性关系,其数学表达式为:

$$\frac{N_s}{N_p} = a + bN_s \quad (7)$$

取式(7)对时间 t 求导数得:

$$\frac{1}{N_p} \frac{dN_s}{dt} - \frac{N_s}{N_p^2} \frac{dN_p}{dt} = b \cdot \frac{dN_s}{dt} \quad (8)$$

因为 $\frac{dN_s}{dt} = Q_s$, $\frac{dN_p}{dt} = Q_p$, 故式(8)可以写成:

$$N_p Q_s - N_s Q_p = b Q_s N_p^2 \quad (9)$$

因为 $\frac{Q_p}{Q_s} = R_{os}$, 改写式(9)得:

$$N_s = \frac{N_p - b N_p^2}{R_{os}} \quad (10)$$

将式(10)代入式(7)可得:

$$\frac{1 - bN_p}{R_{os}} = a + \frac{b(N_p - bN_p^2)}{R_{os}} \tag{11}$$

改写式(11)得:

$$b^2N_p^2 - 2bN_p + 1 - aR_{os} = 0 \tag{12}$$

式(12)就是数学中的一元二次代数方程式,其解的表达式为:

$$N_p = \frac{1 \pm \sqrt{aR_{os}}}{b} \tag{13}$$

油气比(R_{os})是反映注蒸汽开发稠油油藏注采工艺技术水平综合性指标。按中国石油天然气股份有限公司(以下简称股份公司)的统一规定,当经济极限油气比达到0.25时,式(13)就可转换成计算稠油油藏蒸汽吞吐阶段可采储量的公式。由于 R_{os} 和 a 均为大于0的数,所以有两个可采储量表达式:

$$N_p = \frac{1 + \sqrt{0.25a}}{b} \tag{14}$$

$$N_p = \frac{1 - \sqrt{0.25a}}{b} \tag{15}$$

实际工作发现:在这两个可采储量计算公式中, b 值往往很小,且 $b \ll a$,所以式(14)的计算结果与实际值相比,误差较大,不宜使用,可以取式(15)进行稠油油藏可采储量计算。

对辽河油区超稠油油藏8个标定单元分别应用行业标准中的注采关系曲线法和新方法累计油气比曲线法计算可采储量,结合标定单元的实际开发状况,对比分析结果表明:注采关系曲线法计算值明显偏低,累计油气比曲线法计算值符合标定单元的开发现状,计算结果合理(表2)。

表2 累计油气比法计算结果统计表

单元	层位	地质储量 (10 ⁴ t)	年产油 (10 ⁴ t)	累计产油 (10 ⁴ t)	注采关系法		累计油气比法	
					计算值 (10 ⁴ t)	采收率 (%)	计算值 (10 ⁴ t)	采收率 (%)
杜84(兴)	E ₃ s ₂ , E ₂ s ₃	5167	116.8	1324.9	1419	27.5	2208	42.7
曙一区馆陶	Ng	2626	35.3	513.8	521	19.8	802	30.5
杜229	E ₃ s ₂	2061	26.9	511.7	622	30.2	685	33.2
杜80(兴)	E ₃ s ₂	436	5.9	68.7	88	20.2	117	26.8
杜813	E ₃ s ₂ , E ₂ s ₃	2132	27.8	192.0	336	15.8	422	19.8
曙1-6-12(兴)	E ₃ s ₂	130	0.6	13.9	15	11.5	19	14.6
曙1-27-454(兴)	E ₃ s ₂ , E ₂ s ₃	1828	11.0	105.8	119	6.5	216	11.8
曙1-104-205	E ₃ s ₂	300	5.1	17.4	37	12.3	71	23.7
合计 (采收率为平均值)		14680	229.4	2748.2	3157	21.5	4540	30.9

4.1.2 蒸汽驱开发可采储量计算方法研究

国外蒸汽驱已开展多年,技术成熟,是注蒸汽开发主要的开采方法。从蒸汽驱驱油机理分析认为成功蒸汽驱的生产动态基本上可以划分为热连通、蒸汽驱替和蒸汽突破三个阶段。