

主 编 陈韶生

副主编 汤 琦 牛文金 张 宏 孙大树

辽河油田分公司优秀科技成果汇编

(2010年度)

石油工业出版社

内 容 提 要

本书优选了辽河油田分公司 2010 年度有关集团公司和油田公司级重大科研项目的科技论文 100 余篇, 内容涉及油气勘探、油田开发、钻采工艺、人力资源管理等方面。

本书可供从事石油地质、油藏工程、钻采工艺的科技人员和石油院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

辽河油田分公司优秀科技成果汇编. 2010 年度/陈韶生主编.
北京: 石油工业出版社, 2012. 10

ISBN 978 - 7 - 5021 - 9167 - 2

I. 辽…

II. 陈…

III. 石油工程 - 科技成果 - 汇编 - 辽宁省 - 2010

IV. TE - 12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 158300 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)

发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2012 年 10 月第 1 版 2012 年 10 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 54. 25

字数: 1384 千字 印数: 1—1000 册

定价: 260. 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

《辽河油田分公司优秀科技成果汇编 (2010 年度)》 编 委 会

主 编：陈韶生

副主编：汤 琦 牛文金 张 宏 孙大树

编 委：张春山 张凌达 王洁雯 陆福刚 王志信

陈本文 时冀淮 杨晓丽 钟 宏 王建平

王 影 尉小明 杨宗霖 于 萍 顾玉兰

陈鸿雁 李艳丽 熊 梅 王占胜 藏克一

于俊梅

目 录

兴隆台潜山高效勘探开发理论与技术	蔡国刚	许 宁	孙 军等 (1)
大民屯凹陷基岩油气成藏特征及勘探潜力	顾国忠	刘 敏	牟 春等 (9)
SAGD 双水平井循环预热研究与试验	杨立强	张国禄	杨建平等 (18)
辽河油田开发静态数据库系统建设	龚姚进	王海生	江 明等 (28)
稠油水平井分段注汽技术的研究与应用	张守军	刘 恒	郎宝山等 (39)
整体封口射孔防砂技术	孙厚利	张建军	吴志勇等 (52)
SAGD 开采工艺改进与完善	孙守国	陈永恒	张 勇等 (61)
低压漏失井自吸式连续冲砂工艺技术研究	官恩东	戴长生	高歌军等 (71)
SAGD 高温集输工艺技术研究与应用	孙福祿	吴德兴	张义祥等 (76)
48t/h 燃煤注汽锅炉研制及推广应用	吴永宁	李 威	李晓慧等 (82)
辽河油田未上市业务解困扭亏实施方案研究	李孟洲	刘希全	张福刚等 (87)
钱家店地浸砂岩型铀矿勘探技术研究与应用	郑纪伟	李清春	里洪亮等 (95)
地震资料采集、处理高精度成像技术研究与实践	陈树凯	宋宏文	付剑秋等 (103)
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	牛文金	赵庆辉等 (111)
沈阳油田潜山油藏注水提高采收率研究	张吉昌	王 强	靳海龙等 (118)
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	孙洪军	苻 鹏	臧克一等 (125)
创新开发模式,开展重力泄油与蒸汽驱联合开采研究与试验	周大胜	李雅芹	杨德卿等 (131)
荣兴屯油田北部储量二次评价研究	满安静	封晓明	崔成军等 (138)
油井固体润滑防偏磨技术	周洪娟	高本成	李 峰等 (144)
水平井化学分段堵水工艺技术	张洪君	龙 华	李 瑞等 (148)
齐 40 块蒸汽驱综合调控技术研究与应用	杨公鹏	范英才	蒋生健等 (156)
小洼油田深层特稠油油藏蒸汽驱配套技术研究与应用	韩树柏	汪小平	孙古华等 (166)
注水井分层电动测调一体化技术的应用	邱衍辉	张景海	王亚金等 (180)
螺杆泵采油技术的创新与应用	吴 非	罗恩勇	杨春喜等 (191)
水平井采油技术在高升油田二次开发中的应用	陈保钢	潘建华	高本成等 (202)
辽河油田井下作业综合信息与管理信息系统	孙守国	檀德库	梁书娟等 (213)
密闭连续冲砂除砂技术研究与应用	宋彦武	刘秀平	于启海等 (220)
边际效益天然气回收工艺技术及规模化推广应用	范玉平	徐宪胜	刘 宝等 (231)
苏里格气田低渗透储层改造技术研究	罗宪法	刘福健	张佩波等 (236)
稠油地面新工艺新设备研究与应用	张守军	完新生	张宗发等 (256)
大型输油管道同沟敷设及配套工艺技术研究与应用	白玉斌	孙雁伯	周庆林等 (268)

钢质管道定向钻穿越卵石地质层施工技术研究·····	杨 顺	赵 军	吴家清等 (277)
1.5MW 级风力发电机组的研制 ·····	胡德祥	马宪军	付跃东等 (285)
DQ-70LHTY1 顶部驱动钻井装置 ·····	王 彬	郝正强	李 伟等 (295)
电力配网自动化管理系统开发·····	刘申明	白照东	夏长生等 (306)
辽河油田技术路线图研究·····	张凌达	杨罗万	叶 峰等 (315)
未上市企业内控与风险管理体系建设与应用研究·····	战 丽	任文才	王晓南等 (324)
门户系统冗余架构关键技术的研究与应用·····	尹树春	唐宏平	张居库等 (334)
微血管减压术治疗特发性面肌痉挛的临床研究·····	张庆辉	耿 煜	于 静等 (344)
三维适形放疗加同步化疗治疗食管癌临床观察·····	陈 强	王 旻	张宝库等 (349)
辽河滩海地区油气富集条件研究与区带优选·····	李晓光	郭彦民	邹丙方等 (353)
辽河油田“十一五”油气勘探成果及下步勘探方向 ···	单俊峰	陈永成	高险峰等 (361)
辽河西部凹陷三维地震处理与评价·····	郭 平	宋宏文	付正秀等 (370)
铁匠炉斜坡带油藏特征及预测技术·····	张巨星	徐丽英	赵淑琴等 (380)
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	杨光达等 (388)
中深层工业化汽驱精细评价及调整策略研究·····	赵洪岩	户昶昊	赵春梅等 (395)
辽河油田水驱油藏提高采收率新技术探索与实践·····	武 毅	阴艳芳	温 静等 (403)
油藏动态监测资料解释与应用平台·····	杨永彪	邓中先	丁明吉等 (409)
辽河油田 MRC 适应性研究 ·····	李续儒	刘雪梅	李 鑫等 (415)
欢喜岭油田低电阻油藏识别技术及应用·····	杨晓强	高荣杰	周 旭等 (427)
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	李学万等 (436)
东部凹陷西斜坡北段岩性油藏高效开发部署研究·····	杨士萍	梁光迅	邵建中等 (446)
欢 26 块杜家台低渗透油藏精细注水改善开发效果技术研究 ·····	周 旭	蔡玉川	张 鑫等 (465)
兴古 7 块深潜山变质岩油藏初期效果评价及管控措施研究 ·····	李 红	庄恒春	桑转利等 (479)
锦 16 块兴隆台油层优化注水技术 ·····	赵辰军	刘贵满	廖家彬等 (488)
雷家莲花油层综合调整技术研究·····	王卫东	李树山	朱 伟等 (500)
提高稠油潜山高含水单井产量技术·····	马昌明	许 丹	杨海青等 (509)
深层变质岩潜山储层压裂改造技术·····	吕 俊	吴志俊	张子明等 (518)
海南 3 块大斜度井配套举升技术研究·····	徐 爽	王肖磊	王宁辉等 (533)
高凝油井延长检泵周期综合技术研究应用·····	王立军	王志刚	马文天等 (548)
特高含水井调堵配套技术研究与应用·····	黄兆海	王少武	曲金明等 (555)
锦 607 块综合治理工艺技术的研究与应用·····	高玉军	徐恩宽	韩 松等 (565)
低渗透油藏油水井增产增注技术研究与应用·····	周运恒	李加庆	战云峰等 (575)
锦州油田注水工艺综合技术研究与应用·····	徐立清	吕树新	徐恩宽等 (584)
杜 813 兴隆台油藏高温压裂防砂技术·····	刘启林	郭斌建	刘 伟等 (596)
温固型防砂技术的研究与规模化应用·····	曹朋青	张新委	张 君等 (605)
稠油热采高温产出液油水处理现场试验装置研制·····	朱富林	曲明艺	许宝燕等 (620)
沈 67 块聚合物微球调驱技术研究与先导试验 ·····	陈怀满	李 辉	孟 强等 (626)
应用多元化技术稳定并提高单井产量·····	刘广东	海东明	景 峰等 (637)

提高稠油低效吞吐井油气比综合技术推广·····	张德海	彭松良	安九泉等 (653)
输油管道优化运行及安全研究·····	卢 敏	高延宁	马英利等 (661)
高凝油井作业过程中套管蜡高效清除技术研究·····	尹 恕	陈鸿图	杨 雄等 (673)
蒸汽驱井防喷作业配套设备研究·····	刘雪峰	王家暖	关玉双等 (681)
高含水、高漏失油层封堵封窜工艺·····	王敏卓	刘德斌	张传海等 (691)
抽油杆防喷刮油装置研究与应用·····	王彦军	马洪军	杨德智等 (699)
连续酯交换法在 $1.6 \times 10^4 \text{ t/a}$ 碳酸二甲酯装置中的应用 ·····	张驭时	李广明	王世富等 (703)
多功能三层 PE 防腐生产线研制与应用 ·····	衣红兵	谢旺民	孙 杰等 (712)
储罐第一圈带接管壁板热处理技术的研究与应用·····	段占军	任志勇	杨利娜等 (716)
制氢装置扩能技术改造·····	李江林	王 震	马自力等 (723)
油泥资源化利用新技术——生物质油泥型煤及造气型煤技术研究 ·····	周志军	刘 杰	郑凌晨等 (734)
超稠油综合利用工艺技术研究·····	刘华勇	刘 伟	蒋德林等 (741)
信息承载网的建设与应用·····	胡维兴	董玖政	李金辉等 (742)
单螺杆抽油泵研制及推广·····	潘耀庆	朱进礼	张晓辉等 (753)
于楼地区明化镇组咸水体污染及防治研究·····	赵玉娟	梁 敏	孙 伟等 (757)
海豹六号震源船设计及施工技术研究·····	吕宏伟	牛忠俊	王建才等 (766)
50D 绞车设计制造·····	张晓军	任 伟	高永杰等 (774)
辽河油田装备制造业发展策略研究·····	谷安林	郑 起	王东冶等 (778)
辽河油田数据建设与应用·····	张秋菊	周家鸿	邓先永等 (783)
辽河油田统一资金结算流程研究与应用·····	王凌云	桂小琴	于长忱等 (793)
股份公司水平井综合信息管理系统·····	胡海燕	曹 晨	赵秋生等 (797)
SAGD 知识产权保护战略研究 ·····	张 宁	汤 琦	梁建宇等 (802)
辽河油田平安和谐示范矿区建设研究·····	崔浩然	张 力	姜 波等 (811)
辽河油田提升企业管理水平, 实现持续有效发展研究 ·····	林秀峰	高希武	景向伟等 (822)
辽河油田分公司市场信息管理系统·····	徐延广	李先惠	雍 洁等 (829)
辽河油田分公司年鉴 (2009) ·····	曲永州	杨振喜	田 英等 (842)
微造瘘经皮肾输尿管镜气压弹道碎石术 (MPCNL) 的改进 ·····	李雨成	龙志新	王占涛等 (845)
内窥镜直视下消化道狭窄的扩张及支架置入术的临床应用 ·····	张恩杰	董正芳	贾丽霞等 (848)
社区内行动不便老年人照护管理模式探讨·····	马福志	王福兴	邢 伟等 (851)
三维适形放疗 (3D - CRT) 联合健择治疗局晚期胰腺癌 ·····	孙红戈	张宝库	王 辉等 (856)
有效点治疗颈椎病临床应用研究·····	郭 利	韩彩云	刘石磊等 (859)

兴隆台潜山高效勘探开发理论与技术

项目编号：2010101

完成单位：辽河油田分公司勘探开发研究院、辽河油田分公司钻采工艺研究院、中油辽河工程有限公司、辽河油田分公司兴隆台采油厂、辽河油田分公司勘探处、辽河油田分公司开发处、辽河油田分公司采油工艺处、辽河油田分公司科技处

完成人：蔡国刚、许宁、孙军、祝永军、李铁军、王亚金、余成、张方礼、刘德铸、郭野愚、陆福刚、罗海炳、张新培、高养军、窦欣、范红招、余中红、孙洪斌、华子东、王守刚、王光明、张华春、单俊峰、吕福荣、王志明、刘宝鸿、鞠俊成、潘良革

获奖情况：2010 年度辽河油田分公司科技进步一等奖

成果简介

兴隆台潜山是辽河油田最早发现的古潜山油藏，勘探历经风化壳勘探阶段、低潜山及内幕潜山勘探阶段，自 2008 年以来持续勘探阶段。2003 年以来，通过勘探理论上的突破对兴隆台潜山带不断进行探索实践，实现了多个领域的勘探突破，通过开发理念上的创新，提出纵向分段、平面跨块的开发新思路，首创“四段七层、纵叠平错、平直组合”的立体开发井网模式，形成巨厚潜山油藏多层叠置、纵叠平错的开发配套技术，迅速探明了亿吨级储量规模。

(1) 提出和建立了变质岩内幕油气成藏理论认识。

变质岩内幕由多种岩类构成，在统一构造应力场的作用下，不同类型的岩石因其抗压和抗剪切能力的差异，形成了非均质性较强的多套裂缝型储层和非储层组合；不整合面、不同期次的断裂及内幕裂缝系统构成了立体油气输导体系；油气以源、储双因素耦合为主导构成了有效运聚单元，形成了多套相对独立的新生古储型油气藏。

(2) 以探索变质岩内幕含油气情况为目的，发现了多套良好的油气显示。

在辽河坳陷兴隆台潜山部署科学探索井兴古 7 井，该井钻探揭露变质岩潜山内幕 1642m，获工业性油气流，证实了变质岩具有内幕成藏的特点。在该认识指导下，在整个辽河坳陷开展了进一步系统的变质岩油气藏勘探理论、勘探技术与勘探实践探索，共部署三维地震采集 5122km²，叠前连片处理及目标处理 7000km²，针对变质岩内幕共部署各类探井 150 口，探井成功率达到 85%。

(3) 发展、创新了变质岩内幕地层层序、岩性、储层研究技术，形成了岩性识别、储层评价及变质岩内幕储量研究技术。

①自创变质岩地震资料采集、处理、解释一体化技术。针对辽河坳陷地表条件复杂、地下沉积环境不稳定、干扰波发育、火山岩屏蔽强等特点，形成了特变观、分区优化观测系统、最佳岩性激发、低噪声接收、根据干扰波发育情况采取针对性的压制措施与检波器类型等方法。已在辽河坳陷全区开展变质岩层顶面及局部内幕结构解释工作，编制变质岩顶面构造图 6000km²，获技术秘密 6 项。

②自研变质岩内幕结构分析技术。在变质岩内部岩性谱分析与岩性界面的准确标定的基础上,重点通过伽马曲线、密度等多种测井多属性模拟反演和层速度分析、波阻抗差、反射系数对比等方法,对内幕结构及构造进行分析研究,有效指导了近年的探井部署。

③三是自研叠前、叠后变质岩内幕储层预测技术。通过属性分析及叠前地震弹性阻抗反演技术,开展变质岩内幕有效储层和流体的预测,钻井与预测结果符合率达到70%以上。

(4)兴古7潜山变质岩油藏内幕构造复杂、岩性多样、油层巨厚、非均质性强,地处高风险作业区,地质、地面等难点,提出了兴隆台潜山高效开发技术的研究课题。

①优化开发方式——采取顶部垂向烃气区。

②最佳井型设计——MRC井包括大斜度井、水平井、鱼骨井多种井型联合开发。

③合理井网配置——直井控制下,纵叠平错的水平井立体井网。

“四段七层、纵叠平错、平直组合”的立体开发井网模式,形成巨厚潜山油藏多层叠置、纵叠平错的开发配套技术,迅速探明了亿吨级储量规模。实现产量无干扰、压力联系显而不卓、实现了稳产高产和储量合理动用,奠定了兴隆台潜山油藏高效开发的基础。

传统石油地质理论认为,变质岩油气藏主要赋存于古潜山顶面的风化壳中。在该理论指导下,世界范围内变质岩油气藏勘探主要集中于潜山风化壳,忽略了变质岩内幕油气藏的寻找与开发,限制了油气资源的发现与利用,如渤海湾盆地绝大部分古潜山均已钻探,但发现的储量仅占盆地总储量的10%左右。老油田上覆沉积层勘探程度已经很高,剩余待探资源应主要分布于勘探程度很低的基底,因此作为基底最重要组成部分的变质岩内幕自然成为了老油区增储稳产的主要领域。但是,广泛分布的变质岩内幕领域能否成为油气有效聚集和规模成藏的重要场所?变质岩内幕油气藏如何寻找、发现?埋藏深度大而且岩性致密、坚硬的变质岩内幕油藏能否经济开采?如何实现变质岩油藏的高产稳产?这些难题国内外既无理论阐述,也无勘探开发先例。

1 油藏概况

兴隆台潜山构造上位于辽河西部凹陷兴隆台油田的基岩隆起带上,四周为生油洼陷所包围,为典型的“洼中之隆”。油气源条件良好;多期、多种性质的断裂活动,使该潜山裂缝发育,具有较好的储层条件,勘探开发潜力较大。

兴隆台太古宇潜山与上覆中生界成角度不整合接触,变质岩形成时间在2500Ma前后,是辽河拗陷最古老的地层;储层非均质性强,具有双重介质特征。裂缝以中高角度缝为主,方向北东—北东东。平均缝密度为40条/m,裂缝开度为10~100 μm 。基质孔隙度平均为4.6%,渗透率平均为 $4.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;油藏埋深2355~4670m,幅度达2315m,有效厚度为315.3m;原油性质属稀油,地层油密度为644.2 kg/m^3 ,黏度为0.527 $\text{mPa} \cdot \text{s}$,凝固点为14~28 $^{\circ}\text{C}$,含蜡为5.6%~16.95%,胶质+沥青质为0.69%~8.62%。

2 兴隆台潜山勘探历程及内幕油气成藏理论

2.1 兴隆台潜山勘探历程

兴隆台潜山的油气勘探始于20世纪70年代,虽然在前期的勘探中获得了高产油气流,

但因对潜山形态和控油因素认识不清,多年来一直没有形成规模储量。2003年优选南部马圈子低潜山部署实施了马古1井并在太古宇试油,12mm油嘴日产油18t,日产气50000m³。在马古1井钻探成功的基础上,针对该区地震资料品质较差的实际情况,对兴隆台潜山开展重、磁、电、震联合勘探,成功钻探了马古3井,该井在太古宇潜山也见到很好的效果。

马古3井首次在辽河拗陷-4200m深处潜山内幕发现了油气层。对于认识深层潜山油气成藏聚集规律以及纵向上突破含油气深度界限都具有重大的地质意义。在勘探取得突破的同时,对潜山成藏模式也进行了深入分析。近年来,随着曙光低潜山和大民屯低潜山勘探的突破,改变了对低潜山成藏条件的认识,总结并形成了一套适应辽河低潜山油气勘探的部署思路,即潜山勘探应抓住四大主控因素:岩性、裂缝发育条件、供油窗口和保存条件。上述思路对兴隆台潜山勘探起到了很好的指导作用。但是随着勘探的不断深入,以前的潜山勘探模式过于单一,特别是以潜山顶部风化壳找油认识限制了勘探的不断深入。随着对低潜山油藏勘探的不断深入,陆续取得了如下发现:首先通过马古1、马古3等井的钻探突破了-4000m以下潜山出油关;其次在马古1、马古3、陈古1等井的勘探中也发现潜山油藏内部也不是铁板一块,而是受裂缝的发育程度控制,但兴隆台潜山裂缝的发育程度受岩性和构造双重因素制约。

2006年以来兴古7等井的成功钻探,不但突破了原有潜山含油幅度束缚性认识的限制,使潜山纵向勘探领域向下延伸了1500~2000m,突破了潜山只能在表层风化壳含油的认识,表明在变质岩潜山内幕深层仍然存在较好的裂缝发育段并且能够形成规模油气藏。实现由风化壳向潜山内幕深层延伸勘探的重大突破,而且还建立了辽河潜山深层内幕油气成藏的新理论,展示了兴隆台潜山带具有较大的勘探开发潜力。

2.2 变质岩内幕油气成藏理论

通过野外露头研究与测井储层评价相结合,油藏形成机制研究与地震、钻井相结合等工作,首次提出和建立了变质岩内幕油气成藏理论认识,并且具有如下的地质依据:潜山岩性多样性为多期裂缝形成提供了内部条件;构造活动多期、多样性为多期裂缝形成提供了外部条件;多套烃源岩为油气多期运聚提供了油源条件;多向供油窗口,多条运移通道为多期成藏提供了输导条件。

研究表明,变质岩内幕由多种岩类构成,在统一构造应力场的作用下,不同类型的岩石因其抗压和抗剪切能力的差异,形成了非均质性较强的多套裂缝型储层和非储层组合;不整合面、不同期次的断裂以及内幕裂缝系统构成了立体油气输导体系;油气以源、储双因素耦合为主导构成有效运聚单元,形成了多套相对独立的新生古储型油气藏。在勘探过程中,构建了富油气凹陷变质岩油气藏“源储一体化”勘探思路,即在富油气凹陷中决定变质岩能否成藏的两个最关键因素是源岩和储层,首先从剩余资源潜力入手,优选出剩余潜力较大、能够形成规模储量的区带,通过储层评价寻找“优势岩性”,以油气输导体系为联系油源和储层的纽带,以源、储耦合关系确定勘探区带与具体钻探目标。

变质岩内幕油气成藏理论突破了变质岩为均一块体的认识,确认其内幕储层与非储层可交互发育的基本格架;突破了暗色矿物含量多的岩石不能成为储层的认识,建立了“优势岩性”序列及其控制下的油气差异聚集模式,明确变质岩内幕储层与非储层可交互发育,解决了内幕无储层问题;突破了“高点控油、统一油水界面、风化壳控藏”的认识,创建了变质岩内幕与风化壳一体化成藏新模式。

2005 年为证实上述研究成果,以探索变质岩内幕含油气情况为目的,在辽河拗陷兴隆台潜山部署科学探索井兴古 7 井,该井钻探揭露变质岩潜山内幕 1642m,发现了多套良好的油气显示,在变质岩内幕试油,获工业性油气流,证实了变质岩具有内幕成藏的特点。在该认识指导下,在整个辽河拗陷开展了进一步系统的变质岩油气藏勘探理论、勘探技术研究与勘探实践探索,共部署三维地震采集 5122km²,叠前连片处理及目标处理 7000km²,针对变质岩内幕共部署各类探井 150 口,探井成功率达到 85%。

变质岩内幕成藏理论的建立具有两方面重大意义:一是在平面上使勘探区域增加了 7~9 倍;将变质岩勘探空间从占凹陷 10%~15% 的“潜山山头”拓展到整个含油气盆地基底领域。二是在纵向上为钻探潜山内幕、发现大型变质岩潜山油气藏提供了理论依据;实现了将变质岩勘探深度从风化壳拓展至不小于烃源岩最大埋深;在大民屯地区和兴隆台地区,增加的钻探深度分别达到 1200m 和 2300m。

3 兴隆台潜山勘探技术

在内幕成藏理论坚定古潜山山体内部寻找油气、进行内幕勘探的信心基础上,创新发展的变质岩内幕结构识别与预测技术,为寻找和发现内幕油藏提供了先进、实用的技术手段。该技术包括变质岩内幕地层结构分析与预测和凸起及负向构造带圈闭评价两个技术系列。

3.1 变质岩内幕地层结构分析与预测技术

发展、创新了变质岩内幕地层层序、岩性、储层研究技术,对变质岩内幕地层进行厘定,同时形成了岩性识别、储层评价及变质岩内幕储量研究技术。

利用变质岩内幕结构分析预测技术对兴隆台潜山地层进行内幕结构分析,发现变质岩有利勘探区,有效指导了勘探部署。该技术系列由创新研发的 3 项分支技术构成:

一是自创变质岩地震资料采集、处理、解释一体化技术。针对变质岩内幕波阻抗差小、反射系数级别低、层间反射信号微弱等问题,开展了采集设计、处理及解释的技术攻关。采集上,针对辽河拗陷地表条件复杂、地下沉积环境不稳定、干扰波发育、火山岩屏蔽强等特点,形成了特变观、分区优化观测系统、最佳岩性激发、低噪声接收、根据干扰波发育情况采取针对性的压制措施与检波器类型等方法,已形成针对复杂的地表条件以及变质岩内幕反射弱的三维地震采集方案和优化设计两项技术,该技术的采用为后继的研究奠定了坚实的资料基础。处理上,形成了复杂内幕岩层结构地震资料叠前深度偏移以及大面积连片叠前时间偏移两项技术,实现了变质岩顶面以及内幕地层的精确成像。解释上,建立了不同岩性覆盖下的变质岩顶面及内幕反射识别技术。已在辽河拗陷全区开展变质岩层顶面以及局部内幕结构解释工作,编制变质岩顶面构造图 6000km²,技术秘密 6 项。

二是自研变质岩内幕结构分析技术。在变质岩内部岩性谱分析与岩性界面的准确标定的基础上,重点通过伽马曲线、密度等多种测井多属性模拟反演和层速度分析、波阻抗差、反射系数对比等方法,对内幕结构及构造进行分析研究,有效指导了近年的探井部署。

三是自研叠前、叠后变质岩内幕储层预测技术。通过属性分析及叠前地震弹性阻抗反演技术,开展变质岩内幕有效储层和流体的预测,钻井与预测结果符合率达到 70% 以上。

3.2 凸起及负向构造带圈闭评价技术

该技术以内幕成藏理论为依托,形成了以变质岩块体为单元的圈闭评价技术,解决了油

气勘探平面范围的拓展问题。变质岩内幕油气成藏关键因素在于源储配置、储隔层分布及输导条件。在凸起及负向构造带圈闭评价中,重点是对上述要素的分析,突破了传统的以“高点为中心”的评价方法。内幕研究过程中,按照“优势岩性”理念,结合测井、地震资料,对变质岩内幕储隔层分布进行精确厘定,同时结合地震反射特征对变质岩顶面的盖层条件进行分类评价,形成了变质岩油气藏储隔盖层配置分析研究技术;在源储研究过程中,对源岩和变质岩体之间的耦合关系进行精确分类,按照分类对内幕油藏有利发育区进行圈定,建立变质岩油气藏源储耦合关系分类评价技术;通过区域应力场及断裂系统综合分析,在确认变质岩内幕具有裂缝系统发育的情况下,要基于油藏输导体系分析优选有利区。

4 兴隆台潜山油藏高效开发技术

兴古7潜山变质岩油藏内幕构造复杂、岩性多样、油层巨厚、非均质性强,地处高风险作业区,地质、地面的六大难点为高效开发带来了巨大挑战。对于兴隆台潜山油藏新技术条件下合理、高效的油藏工程设计和配套开发技术界限,目前还缺乏系统分析,特别是兴古7基岩潜山油藏含油幅度超过2000m,岩性和构造复杂,如何选择合适的能量补充方式,及时有效地补充纵向各段地层能量,是一个前无古人的课题;对于复杂结构井井网、最优的鱼骨分支间距、长度等都需要开展针对性研究。

4.1 潜山油藏精细描述技术

利用地层研究技术、构造及断裂系统研究技术、井点储层描述技术、储集岩空间分布预测技术、构造裂缝空间分布预测技术和裂缝性油藏储层建模技术等对潜山储层进行了研究。

4.1.1 潜山顶面构造解释技术

利用三维地震资料解释,刻画潜山顶面构造。兴隆台潜山主要的难点表现在:内幕断层的解释,特别是逆断层位置解释不准确;潜山顶面发育厚度变化大的波阻特征与潜山岩性相当的后期喷发的火山岩,给真正的潜山顶界解释带来难度。

常规的手段和程序:首先制作准确的合成地震记录,然后利用地震解释软件对潜山顶面进行追踪解释。针对潜山的难点问题,为了提高断层和顶面解释的精度和可靠性,综合应用了以下解释技术。

(1) 层位标定:从井资料分析潜山上覆岩层与潜山的岩—电性特征,将钻井分层与地震波阻特征进行详细研究对比,特别是阻抗特征相近的不同岩性界面分析。将井合成记录与井旁地震记录进行合理匹配,建立速度场。

(2) 相干体分析技术:计算地震相干数据体的目的主要是对地震数据进行求同存异,以突出那些不相干的数据。

(3) 变密度等时间切片解释技术:切片解释是全三维地震解释的比较有用的手段,它改变了传统的地震解释方法,真正实现了地下界面的空间解释。

(4) 地震地质综合解释:地震地质紧密结合,在建立地质概念模型的基础上进行精细解释,关键的技术是层位标定、速度分析,特别是深层潜山,速度在平面和纵向变化较大,建立好速度场是关键。对于复合型潜山,由于速度和密度相近的不同岩性地层叠合在一起,要仔细分析不同地层的差异和产状等,在空间中进行组合。

4.1.2 潜山内幕地层综合研究技术

建立潜山内幕地层层序是潜山内幕研究的基础,通过近些年潜山内幕研究,形成潜山内幕地层综合研究技术。

(1) 潜山内幕岩性识别:将岩心、岩屑、井壁取心通过利用常规薄片、铸体薄片、X-全岩分析、锆石测年、扫描电镜等多种岩矿分析手段鉴定识别出井剖面上的岩性,并进行归类。针对兴隆台潜山,通过对40m岩心观察、7000多米岩屑描述及100余块井壁取心分析,确定出包括变质岩和岩浆岩在内的两大类7亚类15种岩石类型25种岩石成分,并首次建立完钻井岩性综合解释模型。

(2) 潜山内幕储层识别与评价:通过岩—电性特征研究,结合生产实际统计和总结,建立起了不同岩性的测井识别标准。岩石薄片鉴定及全岩定量分析结果表明,混合花岗岩全岩分析暗色矿物含量小于6%,混合片麻岩暗色矿物含量小于10%,这些岩性的油气显示为储集岩。角闪石岩、煌斑岩脉和辉绿岩脉为非储集岩。储集岩在测井响应上表现为相对低密度、低补偿中子、低光电吸收截面指数、高自然伽马,密度曲线和补偿中子曲线呈“正差异”或“绞合状”的曲线特征,非储集岩岩暗色矿物含量较高,则表现为相反的特征。

依据钻井取心及岩屑录井薄片分析资料利用测井交会图技术分别制作了自然伽马、补偿密度、补偿中子之间的交会图,并作出单井岩性剖面,岩性分布整体以片麻岩为主占49.6%,其次是混合花岗岩和花岗斑岩,分别为8.4%和9.9%。

在定性判别储层岩性的基础上,利用兴古7潜山并结合西部凹陷牛心坨潜山、冷124潜山的试油、投产资料制作储层判别图版,结合储集岩识别标准确定兴古7潜山太古宇储层划分标准,对单井按岩性进行了有效厚度划分。主要储层为黑云母片麻岩,占总储层有效厚度的42.3%;次为花岗斑岩,占总储层有效厚度的22.3%。岩心观察、铸体薄片鉴定及毛细管压力曲线特征表明储集空间具有双重介质的特点,储集空间分为孔隙型和裂隙型两大类。主要储集空间类型为构造裂缝和破碎粒间孔,溶蚀成因的孔、缝及结晶成因的孔隙不发育。通过成像测井解释构造裂缝发育方向,以北东—北东东向最发育。中高角度缝占32.8%,斜交缝占66.9%,低角度缝只占0.3%。统计5口井26.72m的岩心,平均裂缝密度为40.01条/m。

4.2 潜山油藏高效开发设计

兴隆台潜山具有如下开发规律:平面上满块含油;纵向上潜山储层划分4段且均有产能分布;非均质性强,潜山顶面产能差异大,中深段井产量差异相对小些;油藏天然能量不充足,一次采油采收率仅为11%~12%。综合考虑影响产能的井型、裂缝发育情况、水平段长度、工作制度、油层保护程度等因素,进行油藏工程高效开发设计。

4.2.1 优化开发方式——采取顶部垂向烃气驱

从油藏条件或油藏适应性分析,兴古7潜山由于油藏深、油层温度高、地层压力高、原油物性好、岩性特殊,不适应于化学驱以及其他热采方式。针对兴古7潜山天然能量不充足的问题,需要研究人工能量接替和补充的研究,处理好开发过程中驱动方式的转化。从注汽开发油藏的初筛选条件分析,兴古7潜山油藏基本适合于注汽开发。通过物模细管实验研究不同压力下注干气、伴生气驱确定采收率,进而确定注干气、伴生气最小混相压力。兴古7潜山油藏尽管注烃气开发难以实现混相,但非混相驱仍可取得较高的采收率;而且由于油藏含油幅度大,通过顶部垂向气驱,有助于实现重力驱油,注入烃气可以伴生原油采出,循环

利用。

4.2.2 最佳井型设计——MRC 井包括大斜度井、水平井、鱼骨井多种井型联合开发

综合各种井型优缺点比较,为实现少井高产,兴古7潜山选择MRC井联合开发,MRC井为多种复杂结构井及其参数的技术(Maximum Reservoir Contact)。以直井认识和控制储层、降低水平井部署风险;注水早期试验、试注,后期上返采油。大斜度井提高采油速度和采收率,保证较高产能。水平(鱼骨)井提高注水波及系数,注水压力低,注入速度高,保证有效、及时补充地层能量的同时,降低注水强度,避免因注水压力太大而沿着某些裂缝暴性水窜。

利用室内物模的平板模型和剖面可视化模型试验,研究不同水平井长度对开发效果的影响。结果表明,长度为4cm的水平井在注入孔隙体积倍数8倍以下时采出程度明显高于长度为2cm的水平井,以后逐渐持平。因此长水平段的开发效果优于短水平段。通过油藏工程方法计算,随着水平段长度的增加,三大阻力增加、产量提高幅度减少。因此水平井在一定长度范围内,水平段越长,油井产量越高。

室内模型中,针对水平井与裂缝走向呈现平行、斜交关系的可能,分别研究其开发效果。结果表明,裂缝与水平井夹角约为 45° 时采出程度高。

针对兴古7潜山巨厚块状油层开发的难点,为获得较高的产能和较好的经济效益,选择技术成熟、钻井周期短的直井控制认识油层,以利于减少水平井的部署风险,应用水平井或鱼骨井开发主力层段,可以达到较高的裂缝钻遇率,油层动用程度高。结合现场实际和钻井工艺要求水平井设计主干段长850~1000m,每200~250m处设计一条分支,分支数为2~3条,分支长200~300m,夹角为 15° ~ 20° 。

4.2.3 合理井网配置——直井控制下,纵叠平错的水平井立体井网

综合兴古7潜山实际地质情况,采用多段多层交错叠置水平井井网方式。一方面符合整体评价、整体开发要求、满足提高采油速度需要;另一方面符合驱替机理以及渗流特征的要求。从目前的开发动态看,平面相邻井兴古7-H2井和兴古7-H3井,垂向兴古7-H1井和兴古-H202Z井的产量稳定,气油比小幅波动,井间干扰不明显。从压力恢复测试得出,兴Ⅱ段内上、下两层井兴古7-H1井和兴古7-H202Z井之间存在微弱干扰,动态反映了目前井网设计的合理性。

此外,2010年累计进行基岩潜山压裂6井次,施工成功率达100%,平均单井增油2860t,为基岩潜山油藏的顺利开发提供了保障。截至2010年12月,水平井干扰测试工艺技术在兴古7潜山油藏应用7井次,试验成功率达100%,为下步工艺措施的决策提供了可靠的依据。

采用多段多层交错叠置井网开发效果显著:针对兴古7潜山深层巨厚的地质特征,创新开发设计,首次采用适应地质体5层以上的叠置水平井井网和首次采用交错布井适应底水驱。投产的MRC井100%见油,日产超过50t的高产井18口,占总井数的90%,初产在百吨以上的井有13口,占总井数的65%。与同类型油藏地质储量和井数相比,兴古7潜山储量大、井数少,仅为同储量条件下牛心坨油藏井数的34%,是迈台南井数的40%,但实现了少井高产。根据数模预测,兴古7潜山产量高,稳产期长,以1.5%的采油速度稳产4年,开发指标远高于其他油藏。兴古潜山的成功开发将为类似油藏的开发提供可借鉴经验。

5 结 论

(1) 对兴隆台潜山内幕成藏取得诸多重要认识和重大突破,提出了潜山具有双层结构、多期次裂缝储层和多油源充注等有利的成藏条件,形成了变质岩内幕油气成藏理论,拓宽了潜山勘探领域,丰富了深层潜山勘探理论。潜山油藏仍然是辽河坳陷未来勘探的重要领域。

(2) “四段七层、纵叠平错、平直组合”的立体开发井网模式,形成巨厚潜山油藏多层叠置、纵叠平错的开发配套技术,迅速探明了亿吨级储量规模。实现产量无干扰、压力联系显而不卓、实现了稳产高产和储量合理动用,奠定了兴隆台潜山油藏高效开发的基础。

参 考 文 献

- [1] 沈平平,江怀友,赵文智,等. MRC 技术在全球油田开发中的应用 [J]. 石油钻采工艺, 2007, 29 (2): 96 ~ 99.
- [2] 孟卫工,李晓光,刘宝鸿. 辽河坳陷变质岩古潜山内幕油藏形成主控因素分析 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28 (5): 584 ~ 589.
- [3] 钱宝娟. 兴隆台古潜山储层特征及成藏条件研究 [J]. 特种油气藏, 2007, 14 (5): 35 ~ 48.
- [4] 谢文彦,孟卫工,张占文,等. 辽河凹陷潜山内幕多期裂缝油藏成藏模式 [J]. 石油勘探与开发, 2006, 6 (33): 649 ~ 652.
- [5] 王华芬,屈中英,王庄. 变质岩油藏 [M]. 北京:石油工业出版社, 1997.
- [6] 柏松章,唐飞. 裂缝性潜山基岩油藏开发模式 [M]. 北京:石油工业出版社, 1997.
- [7] 程林松,李春兰,郎兆新,等. 分支水平井产能的研究 [J]. 石油学报, 1995, 16 (2).

大民屯凹陷基岩油气成藏特征及勘探潜力

项目编号：2010102

完成单位：辽河油田分公司勘探开发研究院

完成人：顾国忠、刘 敏、牟 春、何绍勇、吴文柱、杨 雪、张和金、尤桂彬、张子璟

获奖情况：2010 年度辽河油田分公司科技进步一等奖

成果简介

《大民屯凹陷基岩油气成藏特征及勘探潜力》是以“富油气凹陷”理论为指导，系统总结了大民屯凹陷基岩油气成藏的地质条件、基岩油气分布规律，强化了基岩成藏的探索研究和储层评价技术攻关，使基岩勘探取得了良好的效果，创新并完善了具有大民屯特色的基岩油藏勘探配套技术系列，取得成果认识如下：

(1) 系统分析了富油气凹陷基岩成藏的独特石油地质条件。

①大民屯凹陷广泛发育沙三下亚段、沙四上亚段暗色泥岩及沙四下亚段油页岩等多套优质烃源岩，有机质类型丰富，生成高凝油和稀油等多种油品。

②早拉张晚挤压的演化背景形成了大民屯凹陷独特的下宽上窄的地质结构和上、下两套断裂系统，构成了大民屯凹陷两套超压体系和上、下两套含油气系统，有利于油气封存和向基岩运移。

③基岩岩性主要为元古宇白云岩、石英岩及太古宇各种变质岩，储集空间以裂缝为主。

④大民屯凹陷基岩的生、储、盖等石油地质条件配置良好，基岩能否成藏的关键是储集条件。

(2) 创新了变质岩岩性预测方法。

本次研究依托“变质岩成因理论”，认为工区太古宇的主要岩性按照变质程度自下而上为混合花岗岩、混合片麻岩、变粒岩和浅粒岩，在此基础上，对工区内所有探井进行了岩性识别，进而对其空间展布特征进行研究，对太古宇岩性进行纵向及横向上的预测。

(3) 储层是基岩成藏的主要控制因素。

在大民屯凹陷独特的石油地质背景下，通过对控制基岩油气成藏因素的系统分析，认为基岩油气成藏的主控因素为岩性及裂缝发育程度，即裂缝发育程度控制了油气的富集，只要有好的储集条件，就可能形成基岩油藏。

(4) 在综合分析的基础上，针对钻遇基岩探井的岩性、裂缝及油水关系进行对比分析后，认为大民屯凹陷基岩油气藏具有“整体含油，局部富集”的特点。

(5) 以上研究取得的创新认识指导了勘探实践。

本次研究在该区共落实有利圈闭 7 个，总面积为 52.6km^2 ，在东部断槽及东胜堡西侧低潜山部署了沈 309、胜 27、哈 36、沈 311 共 4 口预探井，全部获得工业油流，其中沈 311 井获得日产 173m^3 高产工业油流。2010 年在中央潜山带南部新增预测储量 $6233 \times 10^4\text{t}$ ，新增控制储量 $1690 \times 10^4\text{t}$ 。沈 309 井获得日产 17.28m^3 的工业油流，展示了负向构造中基岩油气聚集的良好前景。

(6) 确立了大民屯凹陷基岩 3 个潜山带进行整体勘探的重点地区。

①中央潜山带南部的东胜堡两侧低潜山及东胜堡潜山深层、静安堡—静北潜山深层。

②西部潜山带南部的平安堡—安福屯潜山深层。

③东部潜山带的边台、曹台及东侧凸起的深层。

大民屯凹陷基岩油藏经历 40 余年的勘探,取得了许多丰硕的成果,随着勘探程度的提高,难度不断增大,但大民屯凹陷基岩仍具有较大的勘探潜力,主要表现为:①高、中潜山主体中、浅层探明程度高,其深层勘探程度很低;②大民屯凹陷基岩探明含油面积为 89km^2 ,目前获工业油流最深底界是 3780m,埋深小于 3750m 的基岩面积约为 630km^2 ,待勘探领域至少还有 540km^2 。针对太古宇变质岩潜山岩性复杂、储层难预测等难题,在分析油气成藏基本地质条件的基础上,确定有利成藏区块,为勘探部署提供依据。

1 基岩油藏石油地质特征

1.1 地层特征

大民屯凹陷基岩主要由太古宇和元古宇组成,局部残留中生界。太古宇变质岩系构成最古老的结晶基底,由老至新依次为:太古宇、中、新元古界和中生界,上覆新生界古近系房身泡组、沙河街组、东营组和新近系。沙河街组的沙四段和沙三段的暗色泥岩是凹陷的主力烃源岩。

1.1.1 太古宇岩性及分布特征

太古宇变质岩系地层在大民屯凹陷结晶基底中广泛分布,厚度巨大,目前揭露视厚度最大的探井是胜 10 井,视厚度为 1003m(未穿)。发育有浅粒岩类、变粒岩类、片麻岩类、混合岩类及角闪岩类。浅粒岩以块状分布,片麻岩与斜长角闪岩一般呈互层出现,因此两者可成为共生组合的一套岩性;大民屯凹陷的东胜堡潜山周边胜 20、胜 21、哈 19 等井区分布的主要岩性为浅粒岩和浅粒岩质混合岩,局部夹有角闪变粒岩和片麻岩;静北一边台潜山以变粒岩为主;南部的法哈牛潜山、前进潜山等均以黑云母斜长片麻岩为主,前进潜山北段的沈 288 井区以斜长变粒岩和片麻岩互层为主。

1.1.2 中、新元古界岩性及分布特征

中、新元古界以大红峪组石英岩为底,以角度不整合超覆在太古宇鞍山群之上,向上为长城系海相碎屑岩和碳酸盐岩沉积。由于受到多次构造运动的影响,中、新元古界的分布不具有原形盆地的特点,只在凹陷的西部和北部有残留,其分布具有一定的规律性。

1.2 构造特征

1.2.1 断裂发育特征

凹陷发育多期次、多性质断裂,主要为北东、北北东和东西走向,北东向断裂控制着凹陷的构造格局和沉积演化。除少数边界断裂断开从太古宇至新生界的地层外,大多数断裂划分为上、下两套断裂系统。

下部断裂系统分布于沙四段下部至基底地层中,以北东东向和北西向为主,倾向多为西倾,断层倾角较陡、断层面平直、断距大小不一,多为同向、反向正断层或逆断层,控制基

岩形成东西分带、南北分块的构造格局。

上部断裂系统主要分布于沙四段—东营组，以北东东向或近东西向为主。断层的倾角上陡下缓，平面上近平行排列，表现为同向倾斜的“多米诺式”正断层组合。

受到基底隆起的影响，上部断裂系统与古地貌呈对应关系，即：在基底隆起区，其上部断裂系统较为发育。

1.2.2 基岩构造特征

凹陷潜山指前中生界的地层所形成的潜山，主要有元古宇潜山和太古宇潜山两种类型，潜山现今的分布特征和构造格局是多期构造运动叠加的结果。前中生代断裂活动以北西向为主，基岩沿北西向展布；而中生代以来的燕山期—喜山期构造运动，产生了一系列北东向断层，控制潜山带形成北东向展布、东西向隆洼相间、平行排列的构造格局。控制潜山带北东向展布的断层可分为四级：一级断层主要为北东向延伸、长期活动的深层断裂，如韩三家子断层、西边界断层，控制了大民屯凹陷的形成及演化；二级断层呈北东向延伸，控制了潜山带的分布，如安福屯断裂、前进断层、边台断层等；三级断层为北西向，使北东向展布潜山带具南北分块的特点，如沈 253 断层、曹北断层；四级断层呈北东、北西或近东西向，控制了单个潜山的形态。

1.2.3 构造演化特征

在太古宇，深变质和混合岩化作用形成了鞍山群的变粒岩、片麻岩、斜长角闪岩及混合岩。剧烈的吕梁运动使辽河地区形成了地台基底，之后是地台盖层发展时期，构造运动较平静，以大面积的平缓稳定的垂直升降运动为主。中、新元古代时期，发生了一次持续时间很长的海侵，在古老东西向变质结晶基底之上沉积了一套以滨海—浅海碳酸盐岩为主的稳定的海相地层。蓟县运动—加里东运动时期，大民屯地区整体处于抬升状态，长期遭受剥蚀，在古隆起区缺失中、新元古界和古生界，该时期以太古宇东西向古隆起为基底，中、新元古界为盖层，构成双层地台结构的前中生界基底构造。

中生代早期，受印支期—燕山构造运动影响，地壳运动发生了急剧变化，由区域性平缓升降运动为主转为以褶皱、断裂及火山喷溢为主的拉张运动。三叠纪晚期，大民屯地区地台的盖层全部发生褶皱变形，并抬升隆起，遭受强烈剥蚀，仅在西部平安堡地区残留了元古宇长城系大红峪组和高于庄组，并直接超覆在太古宇之上。至侏罗世晚期，由于太平洋板块以北北西方向朝中国东部大陆边缘俯冲，在较强的拉张作用下，郯庐断裂带的活动影响到大民屯地区，形成了一系列北东向的大断裂。随着俯冲作用的加剧，导致郯庐断裂带发生左旋走滑活动，切割了前中生界基底，截断原来东西向古隆起，把它们初步改造成为北东向凹凸相间排列、东西向带状分布的构造格局，形成了大民屯凹陷潜山的雏形。

新生代以来，大民屯凹陷构造演化划分为 4 个阶段：拱张阶段（古新世）、深陷期（始新世）、扩张期（渐新世）和挤压拗陷阶段（新近纪）。

1.3 储层特征

1.3.1 储层的岩石学特征

太古宇变质岩系是由一套区域变质岩、混合岩及极少量受构造作用改造成的碎裂（动力）变质岩组成。主要岩石类型有黑云母斜长变粒岩、绿帘钠长变粒岩、浅粒岩、斜长角闪岩、混合花岗岩等。储集空间以裂缝为主，具有先期形成、后期改造的特点。元古宇主要岩性为白云岩、石英砂岩和泥质岩类。