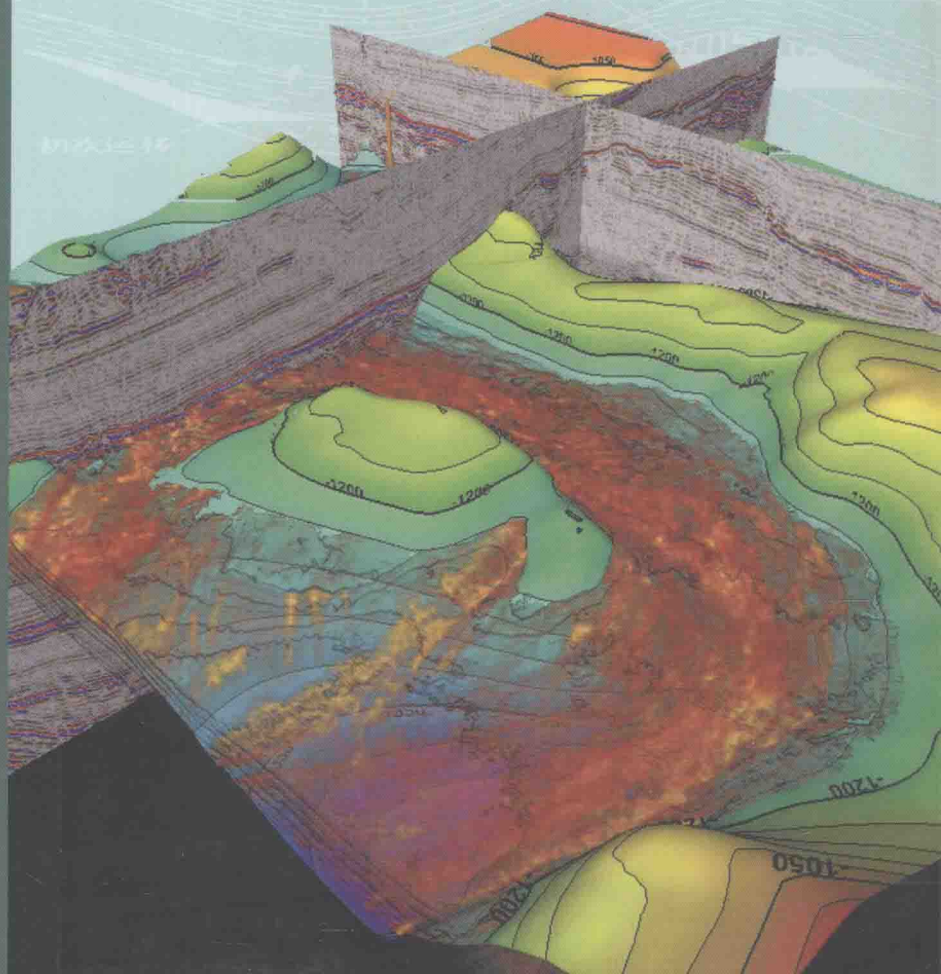




精细油藏描述 技术文集

王元基 张 勇 孙福街 主编



石油工业出版社

精细油藏描述技术文集

王元基 张 勇 孙福街 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本文集精选中国石油学会石油工程专业委员会 2013 年组织的相关征文活动录取的论文 82 篇, 囊括了我国三大石油公司和石油院校这几年在精细油藏描述方面取得的最新研究成果, 内容涉及理论方法、实用技术、应用实例等, 较全面反映了我国目前精细油藏描述技术研究与应用的实际水平, 对成熟油田提高采收率将起到借鉴作用。

本书可供从事油田勘探开发工作的科研人员与高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

精细油藏描述技术文集/王元基, 张勇, 孙福街主编.
北京: 石油工业出版社, 2013. 10

ISBN 978-7-5021-9792-6

I. 精…

II. ①王… ②张… ③孙…

III. 油藏-油气勘探-文集

IV. P618.130.8-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 222540 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: 保定彩虹印刷有限公司

2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 36.5

字数: 920 千字

定价: 110.00 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

《精细油藏描述技术文集》

编 委 会

主 编：王元基 张 勇 孙福街

编 委：胡海燕 郑洪印 唐 磊 赵应成

王连刚 高永荣 高兴军 邓小娟

前 言

精细油藏描述是指油田开发进入高成熟期后,为了达到更加经济有效地开发油田与不断提高采收率的目的,对油藏构造、储层砂体的沉积特征与空间展布,以及伴随开发进程而发生油藏孔渗饱及压力系统的变化情况及其控制因素等进行全方位的表征。它是成熟油田开发工作的基础,是各项开发调整对策制订和具体方案实施的重要依托,也是一项多学科、多专业、多岗位相互融合的系统工程。

在油田开发早期和中期,油藏描述重点关注储集体的连续性、厚度较大的储层、高孔高渗带、油藏构造和断层等问题,研究落实地质储量和可采储量,确定注采井网等油田开发的重大决策。精细油藏描述则是针对地下油水分布发生了巨大变化,开采挖潜的主要对象转向高度分散的剩余油,重点关心储集体的分割性(分隔体、单砂体)、低孔低渗带、薄储层、隔夹层、微构造和小断层及岩石物性的非均质性,以及注水开发过程中储层物性(优势渗流带)和油气水动态变化规律等问题,其目的是搞清剩余油的分布。它要求更精细、准确、定量地划分和预测出各级分隔体、隔夹层和岩石物性非均质性的三维空间分布规律,刻画出微小断层、微构造的分布面貌,建立精细的三维预测模型,进而揭示剩余油的空间分布规律。随着计算机技术的快速发展,精细油藏描述应用地质统计学原理,能够把油藏地质、地震、测井、生产测试等信息融为一体进行综合分析,建立起各种三维可视化地质模型(地层格架模型、构造模型、储层模型和流体模型等)。通过对水驱油规律、剩余油形成机制及其分布规律的深入研究,建立起与油藏进一步挖潜调整密切相关的剩余油分布模型,为技术人员制订挖潜调整方案提供精准的地质依据。

中国油气主要分布在陆相沉积盆地,以河流背景为主,油藏地质条件差,地质区块复杂。各石油公司和专业院校都投入大量的人力物力进行了长期的研究,促进了中国石油工业在精细油藏描述技术和方法上取得长足的进步,跨入世界先进水平。为此,中国石油学会石油工程专业委员会组织了这次《精细油藏描述技术文集》的征文活动,各石油公司和专业院校踊跃投稿。经专家筛选,优选出 82 篇结集出版。这些文章,能够全面反映出中国石油工业在精细油藏方面技术研究与应用的实际水平。我们相信,通过文集交流,必将对中国石油工业精细油藏描述技术进步和成熟油田提高采收率起到积极的推动作用。

中国石油学会石油工程专业委员会

2013 年 8 月

目 录

大庆外围油田扶杨油层主体河道单砂体识别及剩余油分布特征	孙淑艳	刘迪	李思涵	(1)
低渗透扶杨油层单砂体识别与储层定量分类评价	李照永	付志国	迟博	杨桂南 (9)
多层砂岩油藏地质模型方法研究		李勇	徐立显	(14)
多条件约束裂缝性油藏地质建模	王建凯	迟博	杨桂南	苏杨鑫 (18)
多油水系统复杂断块油藏精细描述及潜力研究	李音	井玉艳	郭晓博	杨景强 王延君 (23)
复杂断块油藏精细构造解释及应用效果	姜宏章	李殿波	陈国飞	(31)
高密井网分流河道单砂体原型地质模型研究与认识	何宇航	宋保全	王庆宇	王加强 (41)
过渡带外扩窄小河道砂体水平井挖潜方法研究	杨会东	宋保全	陈国飞	何秋丽 (49)
基于多点地质统计学储层数字化表征技术研究	何秋丽	杨会东	黄勇	刘颖 (54)
基于井震结合反演技术复合砂体内单一河道识别及效果分析	徐立恒	张秀丽	朱权	梁宇 (60)
RMS 软件在复杂断块油藏构造建模中的应用	沈中梅	姜媛媛	谭桂花	孟妍 (66)
安塞长 6 特低渗透油藏单砂体精细刻画技术及应用研究	刘慧峰	张皎生	刘萍	隋成 (71)
安塞油田延安组油藏单砂体追踪技术研究——以塞 169 井区延 9 油藏为例	张龙	田娉婷	徐静刚	杨茹 张天杰 (79)
超低渗透油藏精细油藏描述技术研究及应用	高建英	陈建文	邱晓玲	张奎 (86)
多层叠合油藏剩余油分布规律研究——以马岭油田中一区为例	张莲忠	王胜华	田娉婷	强阵阵 (92)
精细油藏描述技术在二元复合试验区中的应用——以马岭油田北三区为例	潘家安	王胜华	锁玉霞	田娉婷 (99)
姬塬油田黄 57 区长 8 油藏精细描述技术研究与应	焦宝	林艳波	秦智	邱晓玲 (105)
单砂体精细刻画在超稠油射孔优化中的应用	白川	黄伟强	郑爱萍	王紫璇 (112)
九 4 区齐古组油藏砂体精细刻画及剩余油分布研究	徐金华	任标	宿云国	(119)
克拉美丽气田火山岩气藏精细描述及滚动评价	胡婷婷	任军民	李静	于浩业 (127)
重 18 井区侏罗系超稠油油藏精细描述研究新方法	辜清	赵长虹	宫伟	张宝真 (133)
杜 48 块精细油藏描述				吕宏伟 (143)
水平井二次开发油藏精细描述方法研究与应用				于文英 (152)

基于水平井的构造导向方法研究	乔传乡 (160)
油藏描述技术在大情字井特低渗岩性油藏开发中的应用	陈少军 张 辉 李迎九 (166)
板南滩坝砂体雕刻技术研究与应用	程远忠 褚淑敏 程诗睿 吴 萧 叶 萍 王顺利 (175)
板桥凝析油气藏精细描述技术与开发实践	姚瑞香 李晓彤 李绘春 车正家 张 涛 (184)
大港塘沽非常规油藏储层精细雕刻技术研究探讨	褚淑敏 杨正明 程诗睿 张绍岭 朱淑英 张利平 (190)
叠瓦状砂体与隔夹层建模技术在板 64 断块开发中的应用	车正家 王顺利 张 涛 李绘春 李鹏飞 吴 萧 (202)
断棱精细刻画在油藏描述中的应用——以黄骅坳陷孔南地区沈家铺油田为例	孙 建 王庆魁 季 岭 何娇娇 (209)
复杂断块油藏地质建模方法与实践	江艳平 芦凤明 王少波 (216)
水驱油藏精细数值试井技术在 K1 断块的应用	徐建平 芦 梅 李 强 贾 岩 (221)
特低渗透油藏储层精细刻画及三维地质建模研究	李泉凤 聂绍静 李东森 宁文燕 (230)
周清庄油田生物碎屑灰岩储层研究	乔东生 魏玉红 张 春 许向峰 陈 智 尹 菊 孙雪娇 (239)
别古庄油田动态模型建立技术	魏艳梅 张文胜 王 超 张丽淑 (246)
岔河集油田整体地质建模技术探索	张淑娟 王 芳 李明明 罗永胜 (253)
晋 45 断块单砂体内部结构刻画剩余油分布研究	焦立芳 孙新瑞 黄文凤 刘 萍 刘 波 (259)
任丘雾迷山组油藏缝洞预测技术研究	崔 刚 谢世健 郎淑敏 陈 新 (265)
西柳 10 断块井间砂体预测技术	王宏涛 孟 杰 孙卫华 张向利 颜 勇 (273)
建立速率解释模型描述评价火山岩储层	卢红杰 王永康 邹长虹 郭建设 (280)
鲁克沁稠油低阻油层测井研究	刘 刚 李会兰 尹学琪 郑佳奎 (285)
南堡凹陷柳赞南区曲流河点坝构型定量表征与剩余油分布模式	李国永 张 倩 冉国良 冯建松 (293)
南堡油田 NP1-5 区单砂体展布特征研究	徐 波 李晓革 佟建宇 赵崇志 (299)
安塞油田王窑地区长 6 ₁ 小层对比及储层非均质性研究	任康绪 (309)
复杂岩性油藏 J 函数辅助流体饱和度三维定量表征	张文旗 徐 芳 侯秀林 王俊文 (316)
高分辨率层序地层学在地层精细划分与对比中的应用——以辽河西部凹陷某试验区为例	陈欢庆 赵应成 高兴军 荐 鹏 王 珏 姚 尧 杜宜静 樊 涛 (325)
裂缝性储层地质建模方法	邓西里 宋新民 李顺明 李佳鸿 (332)
轮古 7 试验区奥陶系潜山油藏描述中的裂缝评价研究	任康绪 章寒松 王辛蒙 王 珏 杜宜静 (341)

三角洲分流河道精细刻画和剩余油数值模拟

..... 李巧云 吴淑红 高兴军 牛 博 李小波 李 华 王宝华 张吉群 (349)

三维地质建模技术在油藏描述中的应用探讨 吴 键 (358)

特低渗透油藏储层动态裂缝及其对开发的影响

..... 王友净 宋新民 侯建锋 惠 钢 李佳鸿 (366)

常用地震反演方法技术特点与适用条件分析 唐 军 (372)

低渗透储层微观孔隙结构量化表征方法 李 坚 王 玮 王 瑞 (379)

动态建模技术在薄互层低渗透油藏中的应用 黄文欢 (384)

多薄层低渗断块油藏大 37 块精细油藏描述方法及成果应用

..... 黄秀芹 刘承红 路香丽 孙 波 (390)

复杂断块构造建模实用方法研究 孙晓霞 武 刚 周明晖 杨 梅 (399)

孤东八区精细油藏描述技术研究及应用 李文华 房朝连 陈孝芝 白需正 (404)

关于提高整装油田地质模型精度的几点做法 王 宁 张琳璞 宋 宁 (412)

海上特色精细油藏描述集成技术 李 健 (419)

利津油田利 96 块砂砾岩储层预测研究..... 黄 超 谭琴辉 杨 梅 马丽君 (426)

胜利海上埕岛油田整体精细地质模型研究 张海娜 史 军 李 健 焦巧平 (432)

胜坨油田胜一区微型构造研究及对剩余油分布的影响 张 娣 (438)

胜坨油田坨 7 块东一段稠油精细油藏描述技术及其应用效果

..... 晁 静 姜书荣 张巧莹 (446)

王家岗油田王 43 断块精细地质研究..... 宋 力 李 新 栾春华 (453)

王庄油田郑 411 块特超稠油整体水平井建模技术研究 梁金萍 (462)

影响老区油藏描述精度的一点探讨 孙玉花 李忠新 (467)

油藏模型网格尺度对油藏模型精度的影响 杨宏伟 吕德灵 高寿涛 (475)

缝洞型油藏连通性地震属性表征及在注水开发中的应用

..... 李小波 李新华 荣元帅 彭小龙 王可可 (479)

储层物性裂缝对坪北长 9 低渗油藏开发的影响 金 鑫 漆智先 黄 灿 (485)

春光油田西北部古冲沟储层沉积特征研究 李伟才 杨晓培 黄 郑 费永涛 (491)

浅谈近岸水下扇砂砾岩体结合沉积微相的油层研究方法——以泌阳凹陷南部陡坡带

赵凹油田泌 304 区为例 胡书奎 杨 璐 李会娟 马学研 (498)

双河油田核二段开发后期储层地质建模研究 张振平 (506)

一种提高厚油层内部剩余油分布状况认识深度的新方法

..... 李红茹 姜建伟 石 璐 吴 琼 (510)

不同构造建模方法在垦利 L 油田中的应用

..... 胡晓庆 孙立春 范廷恩 王 晖 胡光义 高玉飞 (516)

基于沉积微相的窄河道油藏精细建模研究

..... 石洪福 赵秀娟 廖新武 薛艳霞 张志伟 (521)

精细油藏描述在改善低幅边底水油藏开发效果中的研究与实践

..... 张彩旗 李云鹏 汪 跃 刘 东 张国浩 (527)

泥晶含量定量研究在碳酸盐岩油藏开发中的应用	罗文生	郑洪印	王令超	王继美	(534)		
文昌 A 油田 ZJ ₁ V 油组钙质夹层识别及展布规律研究	刘登丽	陈之贺	刘鑫	魏峰	(541)		
训练图像在蓬莱 19-3 油田相建模中的应用	刘建华	张鹏	汪利宾	王海更	(547)		
砂砾岩油藏开发中后期优势水流通道的识别描述与评价技术应用	刘鹏程	李顺明	冯高城		(553)		
三维地质建模在灵音寺构造嘉陵江组薄储层水平井优化设计中的应用	王飞	程超	桑琴	黄俊辉	吴昌龙	杨通水	(563)
油环油藏分流河道单砂体井间预测及在二次开发中的应用	吕晓光	杨青					(569)

大庆外围油田扶杨油层主体河道单砂体识别及剩余油分布特征

孙淑艳¹ 刘 迪² 李思涵³

(1. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院; 2. 大庆油田有限责任公司第三采油厂;
3. 大庆油田有限责任公司第十采油厂)

摘 要:针对大庆外围低渗透油田扶杨油层多储层、低渗透、非均质性强、裂缝发育等特点,以岩心、测井、动态等资料为基础,结合现代沉积模式,解剖河道单砂体构成模式,应用井震结合砂体预测的新方法,划分河道边界,确定河道走向。依据精细地质研究成果,考虑单砂体成因及分布特征,分析单砂体连通关系、水驱状况和受效类型,总结了不同砂体动用状况差异。依据剩余油分布状况,给出相应开发调整及剩余油挖潜措施,为外围油田增油上产提供了科学的地质依据,在外围油田加密及注水系统调整中取得了较好的应用效果。

关键词:单砂体; 构成模式; 连通关系; 受效类型; 剩余油

大庆外围油田扶杨油层具有多储层、低渗透、非均质性强等特点,这类油田开采难度大,沉积相变快,储层砂体发育复杂、规模较小,河道边界及走向难以识别。目前油田已陆续进入中含水阶段,剩余油分布日趋复杂,加密调整及控水挖潜难度加大,常规油藏描述方法已不能解决这一系列问题。针对油田开发中后期对储层砂体识别精度要求的提高,近年来针对外围油田扶杨储层,从油层细分对比、单砂体精细刻画、地质建模、数值模拟、井震结合储层预测到剩余油分布等多方面开展了大量研究,取得了一定进展,形成了精细油藏描述技术系列,为油田进一步开发调整提高采收率提供了坚实的地质基础。

1 油藏地质概况

大庆外围油田主要为复合型油藏,埋藏深度为中浅层,具有储层岩性、物性变化大、油水分布复杂的特点。主要含油层位为白垩系姚家组姚一段葡萄花油层及泉头组泉三段、泉四段扶杨油层,属低、特低渗透油藏,渗流能力差,非均质严重,局部地区原油为高黏度,储量丰度较低。

2 扶杨储层发育沉积模式

扶杨油层属松辽盆地青山口组一套沉积,其沉积时期松辽盆地广大地区的河流分属古嫩江水系和古松花江水系。依据岩性、古生物、沉积构造分析,扶杨储层为陆相干旱气候条件下河流—浅水三角洲沉积(图1),为受成岩作用影响以河流相沉积为主的低、特低渗透储层,是埋藏较深的季节性河流沉积。

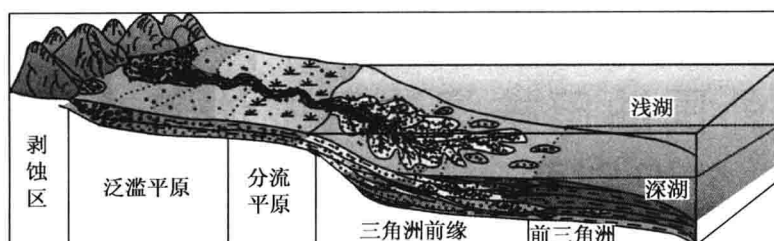


图1 扶杨储层陆相沉积精细地质模型

3 河道砂体精细储层解剖技术

扶余油层为一个完整的三级复合型旋回，自扶三组底界相对广泛的湖侵之后，开始连续水退，至扶二组顶部水退达到顶点，转为扶一组水进，最后结束于青山口组沉积早期的大规模湖侵。顶、底两个湖侵面都是在全球海平面升降和古气候变迁背景下，由盆地自身沉降和湖平面变化引起的，其旋回特征易于识别。而小层及单砂层一级旋回性质多受局部因素控制，需仔细进行对比，其内部可划分为3个四级旋回，扶三组为水退—水进复合型旋回，扶二组为水退型旋回，扶一组为水进型旋回。杨大城子油层组成另一个三级正旋回，杨一组和杨二组则构成了2个内部四级水进型旋回。

3.1 小层细分对比技术

针对扶杨油层主要为河道砂体发育的泛滥—分流平原相，主要依据河流相旋回特征及夹层发育状况进行细对比。通过在大庆外围油田适应性分析认为，“旋回对比、分级控制、不同相带区别对待”即相控旋回等时对比技术，把独立的或相互叠置的厚层河道砂岩细分对比到井间可追溯的单一河流沉积单元，即单一河流旋回层。对应席状砂发育的三角洲前缘相，则依据小层内次级旋回和薄夹层发育程度，把储层细分对比到内部无明显连续夹层的单砂层。从而实现最小单期次河道沉积旋回划分。

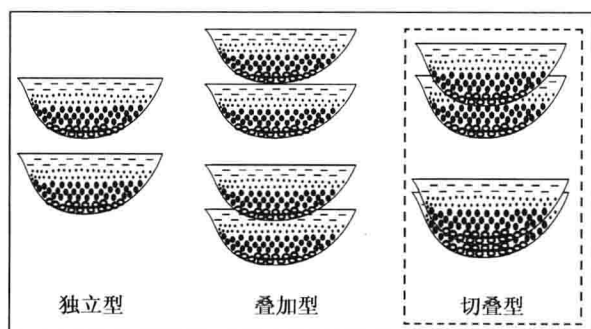


图2 河道砂体垂向切叠模式示意图

河道可大致划分为单一河道和复合河道。扶杨储层以单一河道为主，划分关键是垂向上准确划分单一河道顶底界面，难点是切叠型河道砂体识别（图2）。在扶杨储层中主要发育3种垂向河道砂体类型（图3）。

3.2 顺直型河道砂体储层描述技术

河流三角洲顺直型分流河道是扶杨储层主要砂体发育模式，分布在大庆外围油田大部分地区。对砂体沉积模式分

析认为，水上、水下分流平原顺直型河道砂体纵向连续性较好，延伸长度多大于1500m，河道分支较少，曲度较低，砂体厚度差异大、宽度窄，平面连续性差。

席状三角洲沉积环境下的分流河道砂体，断续分枝砂体较发育，纵向连续性相对较差。由于层内夹层分布较稳定，在井间结合河道发育物源走向和延伸方向基本可以连续追踪对比综合确定河道形态。因此，井间河道砂体分布状况、平面分布组合特征及连续性是这类砂体

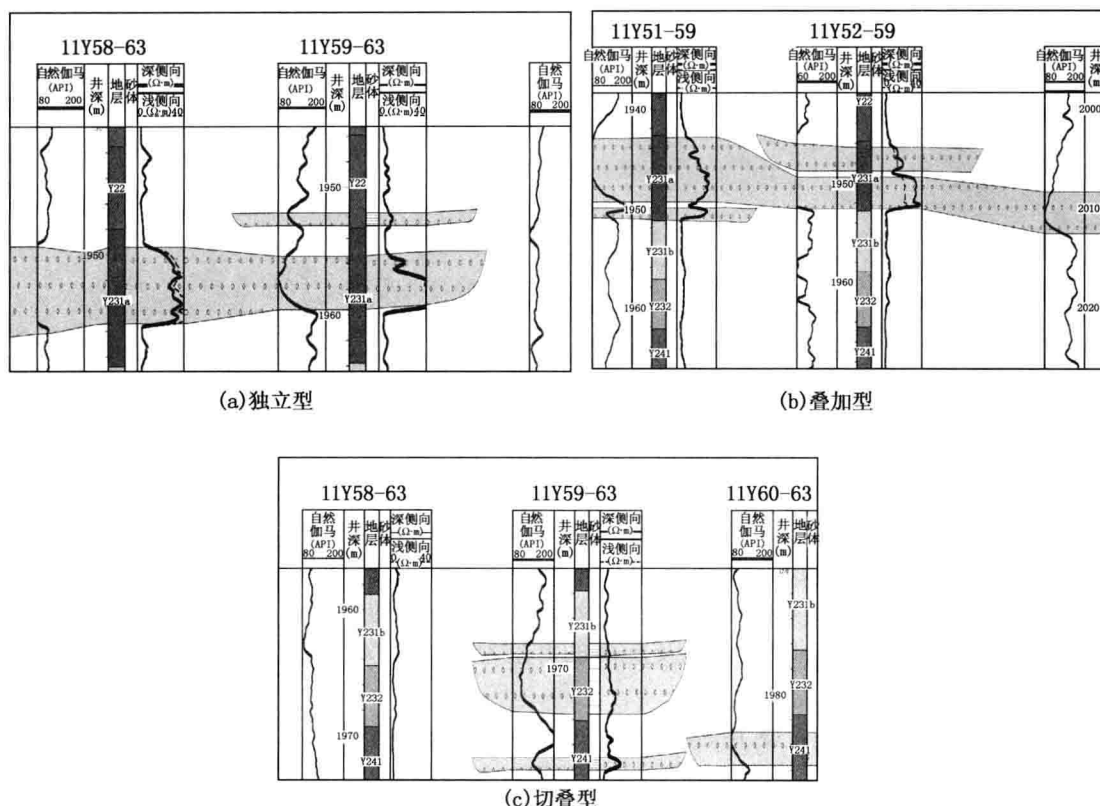


图3 多种类型河道砂体识别剖面图

的研究重点。该类型砂体，密井网条件下其平面组合预测模式通常根据不同井排砂体的钻遇情况确定，井间及河道边部砂体的发育状况需要通过井网加密总结规律性认识及井震结合手段进行砂体预测，从而提高砂体预测精度。

3.3 曲流河砂体储层描述技术

大庆外围油田曲流河砂体主要分布在朝阳沟油田，油田主力油层为河道砂体，纵横切叠，连通状况复杂，针对此类砂体描述可分为3个步骤：

(1) 进行沉积微相划分，根据砂体有效厚度、孔隙度、泥质夹层情况差异，把河道砂微相细分为有效厚度大、物性好、泥质夹层数量少的主体河道砂微相和有效厚度小、物性差、泥质夹层数量多的非主体河道砂微相，河道砂平面物性差异的清楚反映，为进一步细分同一河道砂体之间的连通关系提供了条件。

(2) 应用4种河道边界识别标志，结合测井相模式、物性分布差异识别单一河道。应用单砂体测井识别技术，根据砂体层位对应、测井曲线形态、河间及废弃河道位置，按照“同一河道测井曲线形态相似、河道砂体层位变化处是一期河道边部、废弃河道砂位于单一河道砂体边界（图4）、河间薄层砂位于单一河道砂体边界（图5）”的原则，识别出单一期次河道边界，认识复合曲流带的平面非均质特征，为平面上细分单砂体连通关系、区分不同河道砂体连通与同一河道砂体连通提供了条件。

(3) 通过井震结合进行单一河道砂体识别。这类河流相储层横向变化较大，以往通常做法是以开发井测井资料为基础，参照不同河型砂体发育规模及沉积模式确定河道沉积形态，

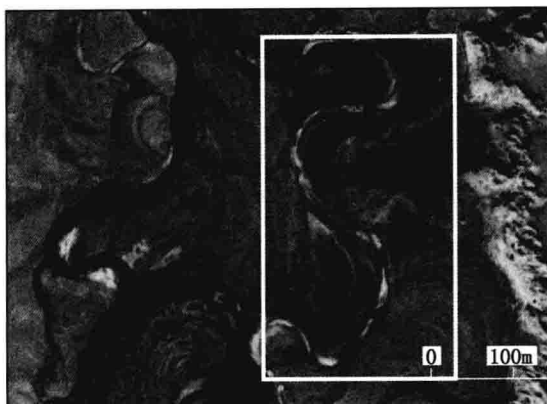


图4 废弃河道砂位置示意图

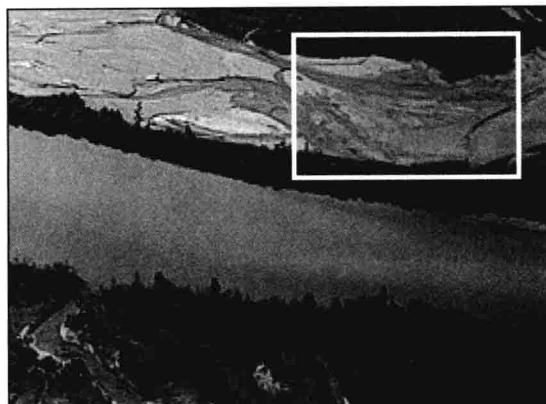


图5 河间薄层砂位置示意图

横向井间砂体主要以预测为主，影响了井间砂体及复合曲流带描述精度。通过加密井验证，这种方法对主力油层砂体预测符合率为70%~90%，对非主力油层的窄小河道砂体预测符合率在60%以下。为了提高井间砂体预测及复合曲流带非均质性认识精度，可综合利用测井及三维地震资料，通过地震属性及反演的井震结合方法对储层单一河道砂体进行识别研究。

通过地震资料预处理及测井曲线重构方法，提高电性曲线与地震波阻抗间的岩相相关性。在地震属性提取与优选的基础上，应用井信息与地震属性对神经网络进行训练，建立地震属性与地质参数间的映射关系，据此预测储层参数。根据河道方向、延伸长度、河道宽度、纵向沉积单元厚度确定变差函数，结合地质统计学方法，参考区块沉积模式及对井符合率匹配程度，优选储层砂体预测结果。针对不同类型砂体，可选择合适的属性分析或反演方法进行储层预测，预测结果基本能反映砂体边界及井间信息，对井间砂体的认识更加清晰。

4 单砂体连通关系分类评价

低渗透储层同一河道砂体内由于物性及连通性差异大，故水驱效果差异大，为此充分考虑砂体微相类型、是否同一河道、物性差异及不同河道切叠方向，将砂体间连通关系细分为连通及不连通2类，其中连通包括8种类型，不连通包括3种类型（表1）。

表1 不同河道类型砂体连通关系分类表

连通状况	河道位置	类别	河道砂体位置特征	水驱效果
连通	同期河道	一类	注采井位于同一河道内，主体河道砂注、砂采	强水驱
		二类	注采井位于同一河道内，主体河道砂注、非主体河道砂采	较强水驱
		三类	注采井位于同一河道内非主体河道砂注、砂采	弱水驱
	不同河道	四类	注采井位于不同期河道凸岸相切叠部分	较强水驱
		五类	注采井位于不同期河道凸岸与凹岸底部相切叠部分	弱水驱
	河道河间	六类	注采井分别位于河间砂体与河道砂体中下部	弱水驱
		七类	注采井分别位于河间砂体与河道砂体上部	弱水驱
		八类	注采井均位于河间砂体，内部连通	弱水驱

续表

连通状况	河道位置	类别	河道砂体位置特征	水驱效果
不连通	不同河道	一类	注采井分别位于河间砂体和废弃河道砂体上部泥质部位，砂体不连通	无水驱
		二类	注采井分别位于河道砂体顶部和废弃河道砂体上部泥质部位，砂体不连通	无水驱
		三类	注采井所在砂体中间存在泥质沉积活断层间隔，砂体不连通	无水驱

按照上述方法对大庆外围典型区块开展了精细储层解剖描述，清晰了河道砂体位置关系及平面非均质特征，统计了砂体间各类连通关系（表 2），精细指导了区块水驱精细调整挖潜。

表 2 大庆外围油田某典型区块砂体间各类连通关系统计表

油层类型	连通比例（%）								不连通比例（%）
	一类	二类	三类	四类	五类	六类	七类	八类	
I 类油层	32.5	24.1	15.1	7.6	3.7	1.0	1.3	0.0	14.7
II 类油层	25.0	24.4	14.4	8.5	3.3	1.7	2.5	0.4	19.8
III 类油层	35.8	16.8	9.5	6.3	0.5	3.2	1.6	0.0	26.3
合计	30.1	23.1	13.9	7.7	3.1	1.5	1.8	0.2	18.6

5 剩余油分布特征研究

大庆外围油田剩余油描述经历了定性一半定量一定量的发展过程。目前已形成多种剩余油研究方法，利用油藏动静态综合分析、检查井岩心分析及数值模拟“三结合”方法，量化了剩余油分布，提高了调整挖潜的针对性和系统性。

5.1 大庆外围油田开发动用状况

在注水开发油田，油层动用程度直接影响了油田开发实际效果。河流相储层中砂体的类型及形态、储层性质、流体性质、水驱控制程度等是影响油层动用程度的主要因素。

大庆外围油田不同类型储层开发动用状况显示，中、低渗透储层动用程度大于 65%，低、特低渗透油层动用程度只有 30.2%~59.6%。同时，由于分流河道砂的砂体发育规模导致其动用程度更低。大庆外围油田平均水驱储量动用程度为 50.5%，尚有 49.5%的储层未被水驱动用，因此还有较高的剩余储量潜力。

根据注水井平面水驱状况，可通过水驱受效类型划分，描述井组储层动用特征，进而量化储层剩余油分布状况。一是主河道突进受效型：主河道砂体平面渗透性差异导致水井各水驱方向差异较大，仅有一个方向或相近方向为较强水驱连通方向，其余方向均为弱水驱状态，水驱呈现较明显的单方向突进特征。二是主河道对称受效型：主河道砂体平面上相对 2 个方向的渗透性大于其他方向，导致水井各水驱方向差异较大，其中相向的 2 个方向水驱较强，其他方向为弱水驱，水驱呈现对称突进型特征。三是均匀受效型：水井所在河道砂体各方向渗透性差异较小或无差异，呈现均匀水驱受效特征。四是不对称受效型：主河道砂体平面渗透性差异导致水井各水驱方向差异较大，只有 1~3 个方向有水驱现象，且没有任何方向出现强水驱现象，其他方向由于砂岩尖灭或断层遮挡均不连通，水驱辐射范围小于 180°，

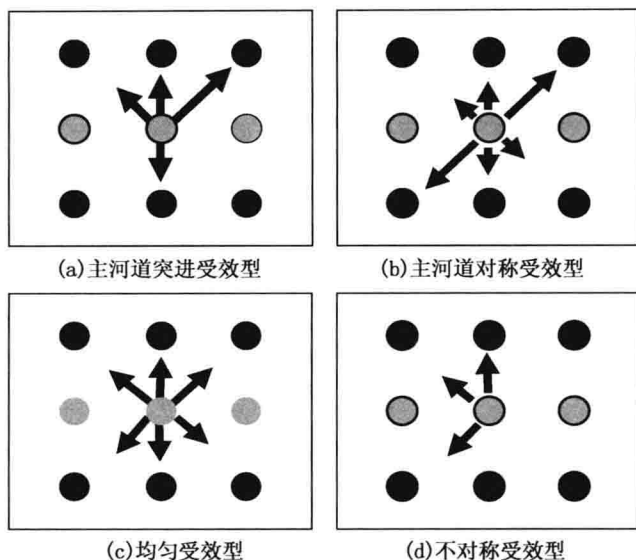


图6 储层河道砂体水驱受效类型图

呈现不对称水驱特征(图6)。

5.2 主要剩余油类型

对大庆外围油田河道砂体剩余油形成因素研究认为,受储层及开发非均质性综合影响,现阶段大庆外围油田河道砂体中剩余油分布趋于复杂化,在平面和纵向上仍存在大量剩余油。

储层非均质性是影响水驱开发效果和剩余油分布的主要内在因素,主要受沉积微相和孔隙结构、渗流特征等要素控制。其控制作用主要体现在储层平面及纵向渗透性差异上,注入水进入储层后,优先进入渗透性好的河道砂体,由于重力作用,主要位于河道底部,并沿着河

道下部方向前进,到一定阶段,进一步向河道上游和两侧扩展。平面渗透率级差越大,主流微相与侧缘相的物性差异越大,侧缘相剩余油饱和度越高,河道边部水驱受效程度低,形成剩余油富集区。

依据剩余油形成因素不同,将其分为7种类型:井网控制不住型、注采不完善型、单向受效型、层间干扰型、层内非均质型、平面干扰型、断层遮挡型。

(1) 井网控制不住型:主要是由于河道砂体发育规模较小,许多窄条带砂体的发育宽度小于实际开发井距的宽度,井网控制程度差形成,多发育在扶杨油层窄小河道砂体中。该类型占区块剩余油的12.5%。

(2) 注采不完善型:主要是由于小断层发育及砂体边部尖灭,造成平面上有采无注或者有注无采,形成剩余油,是大庆外围油田河道砂体剩余油主要类型。该类型占区块剩余油的22.7%。

(3) 单向受效型:是由于油井只有一个受效方向,无其他注水井点,形成单向受效型剩余油,是窄小或断续河道砂体的主要剩余油类型。该类型占区块剩余油的11.2%。

(4) 层间干扰型:这类剩余油存在于纵向物性相对较差的油层中,受发育较好油层层间干扰,动用差或未动用。该类型占区块剩余油的16.8%。

(5) 层内非均质型:是由于油层平面及纵向非均质性较强形成的,纵向是由于泥质夹层及层内韵律性影响纵向水驱规律,从而控制层内剩余油分布。平面上主要是非均质性对剩余油分布的控制,加之人为布井对储层渗流场的控制使得剩余油分布更加复杂。该类型占区块剩余油的19.9%。

(6) 平面干扰型:由于储层沉积微相不同,平面结构及物性差异大,导致渗透率等储层参数具有各向异性,注水首先沿着高渗透强水驱方向推进,使砂体边部的薄层和渗透性较差层受主体部位平面干扰形成剩余油。该类型占区块剩余油的11.7%。

(7) 断层遮挡型:是指由于受断层遮挡,使采油井无法受到注水驱替效果而形成剩余油。该类型占区块剩余油的5.2%。

外围剩余油类型统计显示，主力油层剩余油类型以层内非均质型为主，非主力油层剩余油类型以注采不完善型为主。通过上述分析，结合数值模拟方法，可进一步量化剩余油分布（图 7），为储层挖潜提供定量依据。

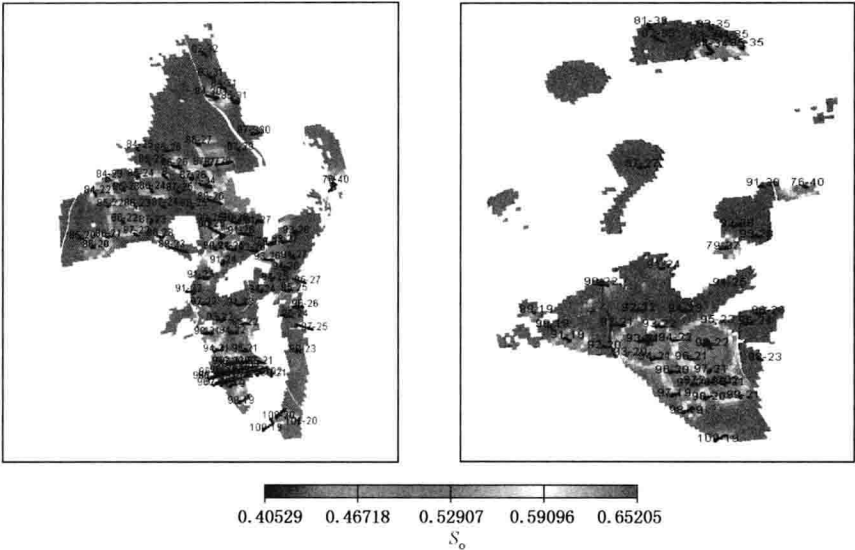


图 7 区块数值模拟剩余油饱和度图

5.3 河道砂体剩余油分布规律

扶杨油层河道砂体受多因素影响，剩余油在平面上呈片状、条带状、陀状分布。平面非均质性较强的油层，局部低渗透带仍存有较多剩余油；油井间滞留区或封闭断层附近也存有较多剩余油，当剩余油井点数占总井数超过 15% 以上时，平面剩余油连片分布，以水下分流河道砂为主，由于砂体厚薄变化大，因而砂体动用较差。

窄河道砂连续性差，平面物性变化大，由于河道砂体渗流遮挡作用和无注水井点使局部砂体动用差或未动用，形成陀状、条带状局部分布的剩余油。这部分剩余油砂体厚度较大，个数较多，占有有效厚度的 60%~70%。

剩余油在剖面上主要分布在低渗透部位。受纵向非均质性影响，低渗透层剩余油富集，分布在储层物性变差部位，或者有隔夹层遮挡下部，剩余油层厚度一般小于 2m。受注水重力及韵律影响，油层下部水洗程度较高，上部动用程度低，剩余油富集。曲流河砂体主要以正韵律及复合韵律为主，每个韵律段内部均呈现底部中—强水洗，油层顶部一般发育侧积夹层，剩余油呈叠瓦状分布在厚油层顶部，现阶段顶部有近 30% 的油层厚度存在剩余油。

6 河道砂体剩余油挖潜措施

针对外围油田河道砂体内剩余油分布状况，可以有针对性地采取个性化挖潜措施，有效指导河道砂体内部剩余油挖潜（表 3）。运用相应的挖潜措施在外围油田不同区块开展了注水调整、井网加密等系列措施，措施实施后，增加了各区块的可采储量，提高采收率 3~10 个百分点，平均提高 5% 左右，取得了较好的增油效果。

表 3 外围油田扶余油层河道砂体内部剩余油挖潜措施表

剩余油类型	存在问题	治理对策	目的
注采不完善型 单向受效型	注采不完善	转注、补孔、层内细分堵水、 局部井网加密	增加水驱厚度、方向完善注 采关系
层间干扰型 平面干扰型 层内非均质型	动用程度不均匀 含水差别较大 储层物性差	调配、调剖、层内细分注水、 调节强弱水驱平衡、压裂	稳定地层压力 控制含水上升减小低渗因素干扰
井网控制不住型	注水差、难形成完善注 采关系	油水井改造、转注、钻调整 井、局部井网加密	降低地层压力完善注采关系
断层遮挡型	断层遮挡水驱不到	注采系统调整 水平井开发	完善注采关系、提高储层渗 透性、提高油层动用厚度

7 结 论

(1) 外围油田河道砂体小层划分主要采用“旋回对比、分级控制、不同相带区别对待”技术方法，可把独立的或相互叠置的厚层河道砂岩细分对比到井间可追溯的单一河流沉积单元。

(2) 现阶段外围油田河道砂体内仍存在大量剩余油。依据剩余油形成因素将其划分为井网控制不住型、注采不完善型、单向受效型等 7 种类型。针对不同剩余油分布状况运用相应挖潜措施在外围油田不同区块实施后均取得较好效果。

参 考 文 献

- [1] 李洁, 郝兰英, 马利民. 大庆长垣油田特高含水期精细油藏描述技术 [J]. 大庆石油地质与开发, 2009, 28 (5): 83-90.
- [2] 王秀娟, 彭钰, 刘卫丽. 大庆长垣外围油田剩余油类型及分布规律 [J]. 大庆石油地质与开发, 2011, 30 (5): 46-51.
- [3] 林景晔, 夏丹. 注水开发油田剩余油分布及提高采收率的水动力学方法 [J]. 大庆石油地质与开发, 2013, 32 (1): 76-81.
- [4] 王延忠. 水驱砂体油层特高含水期剩余油精细表征技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2011.
- [5] 何宇航, 宋保全, 白振强. 大庆油田河流相储层精细描述技术发展及应用 [J]. 大庆石油地质与开发, 2011, 30 (1): 63-69.
- [6] 刘沛玲. 扶余油田改善高含水区块开发效果的措施 [J]. 大庆石油地质与开发, 2009, 28 (4): 68-71.
- [7] 韩德金, 李德武, 等. 榆树林油田扶余油层精细地质与剩余油分布 [J]. 大庆石油学院学报, 2006, 30 (1).