



DISHENTOU YOUTIAN KAIFA JISHU WENJI

低渗透油田开发技术文集

闫存章 李 阳 主编



石油工业出版社

低渗透油田开发技术文集

闫存章 李 阳 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本文集精选了中国石油学会石油工程专业委员会于 2008 年召开的“低渗透油田开发技术研讨会”论文 63 篇。这些论文从方法与技术、应用实例两方面，全面反映了我国目前低渗透油田开发技术现状和应用水平。

本书可供油气田开发系统的研究和技术人员，以及石油院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

低渗透油田开发技术文集/闫存章，李阳主编.

北京：石油工业出版社，2008. 9

ISBN 978-7-5021-6707-3

I. 低…

II. ①闫… ②李…

III. 低渗透油层-油田开发-文集

IV. TE 348-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 113826 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) 64210392

经 销：全国新华书店

印 刷：北京晨旭印刷厂

2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本：1/16 印张：26

字数：650 千字 印数：1—1800 册

定价：60.00 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

《低渗透油田开发技术文集》

编 委 会

主 编：闫存章 李 阳

副主编：王元基 孙焕泉 孙福街 计秉玉 焦方正
张正卿

编 委：徐正顺 胡海燕 胡永乐 任方祥 李东海
苟三权 孙 健 梁春秀 王寿平 孙晓岗
樊中海 赵树栋 常学军 廖广志 周家奎
任玉林 赵平起 罗 伟 罗承建 王国辉
刘显太 江同文 郑洪印 彭裕林 程仲平
史成恩 崔亚民

前 言

国内石油界通常把空气渗透率小于 50mD 的储层界定为低渗透类储层。其中又分为若干亚类：5~50mD 称为普通低渗透；1~5mD 称为特低渗透；小于 1mD 称为超低渗透（尚待行业研究确认）。

中国的低渗透油气田分布比较广，资源量大，近几年探明低渗透储量比例从 30% 增大到 70%。截至 2007 年，探明低渗透石油地质储量为 $99.4 \times 10^4 \text{t}$ ，占全国的 36%；探明低渗透天然气地质储量为 $4.95 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，占全国的 67%。其中，渗透率小于 5mD 储层中探明的石油储量占 58%，天然气储量占 85%。特别是地处黄河流域的鄂尔多斯盆地，蕴藏着数十亿吨石油和数万亿立方米天然气，是中国在新世纪发展建设的最大的油气生产基地，但主要以特低渗透和超低渗透储量为主。

低渗透储层喉道小，结构复杂，原油在其中流动时或多或少表现出非达西渗流特点；部分储层伴随发育微细裂缝，又表现出双重介质渗流特征。因此，要实现较高速率、较高采出程度、较高经济效益的开采目的的是一个世界级的难题。国内三大石油公司和有关高校在低渗透渗流机理、储层描述、井网井型、储层改造、注水注气、生产调控等油田开发的各个方面进行了长期而卓有成效的研究与实践，形成了先进、适用的开采技术，使低渗透油田的年产量接近全国年产量的四分之一，成为今后实现全国产量增长的主要接替战场。

但是，受技术及经济因素的制约，目前还有相当部分低渗透储量未能投入开发，已开发储量的采收率也不高。如何更加经济有效开发这些储量，提高已开发储量的采收率，是油田开发工作者长期和艰巨的任务。为此，中国石油学会石油工程专业委员会召开了低渗透油田开发技术研讨会，对目前所取得的研究和实践成果进行总结和交流。会议收到征文 150 篇，经专家筛选 63 篇结集出版，还选出部分论文进行会议交流，力求对科技和生产有一定的参考和借鉴作用，旨在进一步推动低渗透油田开发技术进步，开发水平提高。在编辑中如有不妥之处，敬请批评指正。

目 录

方法与技术

安棚深层系特低渗储层特征与油气分布规律	姜建伟 卢小欧 (3)
安塞油田坪桥区裂缝侧向挖潜技术研究	王 萍 熊维亮 柳良仁 余光明 贾军红 (8)
宝北区块低渗透油藏流动单元划分及水淹层识别研究	梁杰峰 黄 郑 邬 侠 (15)
渤中 25-1 油田沙河街组低渗油藏油井生产特征分析	刘 英 (22)
不同注入气体对大庆外围低渗透储层原油物性的影响探讨	魏长清 孙久刚 (28)
长庆三叠系特低渗透油藏开发效果影响因素分析	余光明 张皎生 柳良仁 刘 萍 (33)
超微生物在低渗透油田增产现场试验研究	乐建君 韩培慧 张继元 柏璐璐 (42)
川西难动用储量高效开发关键技术研究	任 山 黄禹忠 王兴文 杨永华 刘 林 (48)
大庆长垣外围特低渗透扶杨油层 CO ₂ 驱油可行性试验研究	熊 霄 雷友忠 杨永辉 (56)
大庆外围特低渗透储层原油在岩石表面吸附及其对渗流的影响	石京平 杨晓东 周 庆 王瑞涵 (63)
低渗低速低效区块改善开发效果研究与认识	王贺强 郭小龙 张家良 张丽辉 (67)
低渗透砂岩油藏数值模拟研究	王海江 姜瑞忠 杨俊茹 (74)
低渗透油藏多层段降压开采工艺技术研究	张宏录 马宏伟 王志清 朱蒲首 (79)
低渗透油藏渗流流变性与改善开发效果研究	胡雪滨 荣林柏 胡振国 陈龙花 (86)
低渗透油藏渗吸开发技术研究	毕义泉 汪庐山 张 星 任占春 (94)
低渗透油藏整体压裂开发研究	申景峰 邓爱居 王亚洲 甘 健 (98)
低渗透油层周期注水方法研究	王玉珠 王家祥 (105)
低渗透油田合理井网及开发技术政策研究	喻高明 高正龙 王 敏 张 娜 (109)
低渗油藏水平井生产规律研究	陈 馨 姜丽丽 曾 桃 (114)
低渗透油藏污染井污染前后的产能预测新模型	何勇明 樊中海 孙尚如 王 涛 (118)
低压低渗储层自生气压裂液胶囊添加剂技术	康 毅 叶仲斌 赖南君 陈 洪 (122)
扶余特低渗透裂缝性储层限压注水控水技术研究	陈淑利 王丽莉 宋正江 张 脊 孙力红 (127)
改善低渗透油藏水驱效果化学体系性能初探	赖南君 叶仲斌 陈 洪 舒 政 (133)
孤岛复杂断块低渗透油藏潜力评价及提高采收率对策	刘艳平 任福生 常国栋 李志华 (139)
惠州深层低渗透油藏非线性渗流特征评价及对产能影响研究	

..... 刘伟新 郭 肖 秦 峰 刘建仪 (144)	
基于最小二乘支持向量机的大庆外围油田复杂油水识别新方法	
..... 张剑凤 赵 霖 刘兴冬 (151)	
龙虎泡油田低渗透薄差层水淹层识别方法探讨	
..... 王 超 蔡 敏 侯玉华 薛凤玲 (156)	
潜江凹陷潜 4 ³ 油组低渗透油藏改善开发效果研究	王 敏 王 智 陈姝兰 (162)
世界页岩气资源勘探开发现状与展望	
..... 江怀友 胡永乐 安晓璇 齐仁理 乔卫杰 彭仕宓 (169)	
特低渗储层降低渗流阻力的改性注入剂研究	
..... 武平仓 贾军红 吕小玲 邵创国 周江华 (180)	
特低渗透储层砂岩微观孔隙结构特征的恒速压汞实验研究	
..... 武平仓 高春宁 周江华 王小琳 杜朝峰 (186)	
特低渗透扶余油层储层动用界限研究及开发效果评价	陆延平 刘洪涛 姜福聪 (192)
特低渗透油藏井网新认识	王锦芳 卜忠宇 严增民 李凡华 (200)
改善低渗碳酸盐岩油藏注水开发效果技术及应用	
..... 赵 伦 范子菲 宋 珩 李建新 蔡冬梅 (208)	
涠洲 12-1 油田南块涠四段低渗油藏试采方案研究	
..... 雷 霄 劳业春 张乔良 杨朝强 许月明 (215)	
下二门油田深层系低渗透油藏改善开发效果途径研究	
..... 韩春林 杨永利 王文升 刘峥君 (222)	
压力对异常高压低渗油田产能影响的新认识	李丰辉 李 波 冯 鑫 兰利川 (229)
异常高压低渗透砂岩油田开发技术进展	王继美 郑洪印 程时清 蒋百召 (236)
应用地化热解及气相色谱分析技术提高低渗透油田疑难油水层解释精度	韩福成 (241)
运用 R/S 分形技术研究微裂缝对杏河 S167 井区油井产能的影响	
..... 刘慧峰 孟 浩 余光明 柳良仁 (247)	
运用核磁共振技术研究 Z1 区块油藏渗流特征	常 鸣 陈 娟 (253)
CO ₂ 混相驱提高低渗透油田采收率数值模拟研究	史 华 戴 涛 秦学杰 (260)

应用实例

长庆已开发三叠系油藏开发规律研究及应用

..... 刘 萍 陈 亮 熊维亮 王 斌 柳良仁 (269)	
大型深度压裂在渤中 25-1 油田的应用	范海燕 杨庆红 兰力川 冯 鑫 (278)
低渗特低渗油藏系统保护储层技术研究与应 用	徐卫华 薛 芸 睢文云 袁 林 (284)
低渗透砂岩油藏高含水期不同储层类型研究与治理对策	
..... 宋社民 苗 坤 陈福有 汤 蒙 (292)	
低渗透油藏压裂关键技术研究及应用	马 收 熊 伟 张军峰 刚守涛 (298)
低渗透油田高效开发技术应用与效果——以木头油田 125 区块开发为例	王建华 (304)
段六拨低渗透油田有效提高油层动用程度开采技术的研究与应用	
..... 王学立 路永萍 王 新 丁长新 (310)	

樊 131 区块低渗透油藏有效开发的集成技术和做法	周玉华 周玉龙 王晓宇 胡适东 (315)
分支井技术在小 33、小 35 块特低渗油藏中的应用	赵国英 (322)
高强度水基凝胶在低渗透油田深部调剖中的应用	吕 鑫 岳湘安 侯吉瑞 张 卫 李粉丽 宋丽娜 (328)
海相低渗透油藏开发实践与认识	苏崇华 (334)
井下压力监测、分析技术在裂缝性低渗透油藏的应用	李远照 (344)
老井挖潜评价技术在低孔低渗油气藏中的研究与应用	徐进成 冯 毅 罗青桂 张建民 (351)
辽河油区中生界低渗透油藏注水开发探索与实践	石利华 (361)
辽河油田低渗透油藏复杂结构井技术应用与分析	刘春丽 (368)
双台阶水平井技术在苏 10 区块低渗气田的现场应用	祝金利 (373)
水平井开采低渗透油田储层改造的实践与认识	闫建文 熊春明 张建军 凌芬芹 (378)
塔里木深井碳酸盐岩储层改造实践与认识	李永平 张福祥 王永辉 程兴生 车明光 (382)
压裂技术在渤海异常高压低渗地层的可行性分析	刘书杰 曹砚锋 齐 桃 耿亚楠 管虹翔 张士诚 (389)
异常高压低渗透油藏合理地层压力探索与实践	曲瑛新 张 威 赵海金 (396)
HuaZ 低渗透油田储层保护钻井液技术的研究与应用	何竹梅 睢文云 吴富生 宋碧涛 施智玲 (401)

方法与技术

安棚深层系特低渗储层特征与油气分布规律

姜建伟 卢小欧

(中国石化河南油田分公司勘探开发研究院)

摘 要 泌阳凹陷安棚深层系储层平均孔隙度为 4.53%，平均渗透率为 1.09mD。孔喉分布状况差、结构复杂、致密低渗是其突出特点，颗粒大小混杂、分选差、成分成熟度和结构成熟低，是导致深层系砂岩低渗的主要原因；成岩作用，特别是压实作用和晚期碳酸盐胶结作用是影响储层微观非均质性和导致储层致密低渗的主要因素。

关键词 深层系 成岩作用 孔隙结构 油气分布 泌阳凹陷

1 地质概况

泌阳凹陷是在东秦岭褶皱带上发育起来的古近系箕状断陷。安棚地区位于泌阳凹陷东南部，该区早期发育的赵凹—安棚鼻状构造由西北向东南倾没，来自南部陡坡带的栗园和平氏扇三角洲砂体由南向北展布，逐渐减薄尖灭，与鼻状构造相配置形成砂岩上倾尖灭圈闭。同时该区位于或紧邻凹陷生烃中心，烃源条件好，近源捕捉油气形成砂岩上倾尖灭油气藏^[1]。

安棚深层系主要指埋深大于 3000m 的核桃园组三段下亚段，可进一步细分为Ⅶ，Ⅷ，Ⅸ等 3 个油组共 51 个小层。安棚深层系发育的沉积体系为扇三角洲沉积体系，沉积环境主要为扇三角洲前缘亚相和前扇三角洲亚相，发育的微相类型有：近岸水道、远岸水道、河口坝、席状砂、河道间等微相。

2 储层特征

2.1 岩石学特征

深层系储层岩性上主要为岩屑砂岩、长石岩屑砂岩（包括次长石岩屑砂岩）、岩屑长石砂岩、长石砂岩及少量的石英砂岩^[2]。从平面分布看，南部岩屑含量较高（53.8%），石英和长石含量较低；而北部具有高石英含量、低岩屑含量和长石含量中等的特点。胶结类型主要为孔隙胶结，碎屑颗粒磨圆度以次棱为主，分选差—中（分选系数平均为 2.27），粒度中值平均为 0.234mm。岩石的结构成熟度和矿物成熟度均较低，反映出安棚深层系砂岩具有近源扇三角洲快速堆积的特点。

2.2 储层孔喉特征

根据孔隙的成因、产状及几何形态^[3,4]，深层系储层孔隙类型主要有原生残余粒间孔、粒间溶孔、组分内溶孔（包括粒内溶孔、胶结物内溶孔及交代物溶孔）、晶间孔及晶间溶孔和裂缝孔隙等。裂隙的数量虽然不多，但未被充填的裂隙对于改善岩石的渗透能力具有重要的意义。

安棚深层系砂岩储层常见的喉道类型有：缩径型喉道、片状或弯片状喉道、管束状喉

道。孔隙组合类型为：次生溶孔型、残余粒间孔隙型、杂基内和晶间微孔隙型、次生溶孔与微孔复合型。运用铸体薄片图象处理方法和压汞毛细管压力曲线（72 块样品）研究储层微观孔隙结构。深层系整体喉道偏微细，中喉道在整个储层中所占比例较小。

2.2.1 孔隙小，具有两种孔隙介质特点

大部分孔径介于 $12.59\sim 63.10\mu\text{m}$ ，平均孔隙直径为 $54.86\mu\text{m}$ ，表明该区砂岩储层孔隙属小孔，有少部分为中孔，极少数为大孔，此类储层孔、缝相对发育，反映了以有效孔隙为主的孔隙结构特点，为该区的有效储层。

2.2.2 喉道细微且不均匀

储层的喉道半径平均为 $0.35\mu\text{m}$ ，毛细管压力曲线大部分表现为细歪度，表明该区砂岩储层主要为微细小喉道，极少数为细喉，属微渗和特低渗。

2.2.3 孔喉分布状况差、结构复杂

孔喉直径比平均为 3.334；最大配位数为 3，平均配位数为 0.32；最大汞饱和度小，退汞效率低；孔喉相对分选普遍较大，平均为 1.134；微观均值系数较小，平均为 0.1976。这些都反映了原始沉积作用、后期压实作用、晚期溶蚀作用和胶结作用对孔隙结构的亚相和改造，造成孔喉大小分布不均匀，孔喉分布状况差^[5,6]。

3 储层致密低渗因素分析

3.1 沉积环境对储集物性的影响

沉积环境的差异导致岩石成分、结构、构造等存在较大的变化。不同成因砂体中，以扇三角洲前缘的水下分流河道和河口坝物性最好，前缘席状砂次之。但是安棚深层系的扇三角洲是快速堆积的产物，其颗粒大小混杂、分选差，成分成熟度和结构成熟度较低，导致深层系砂岩孔渗性较差。

根据研究区高分辨率层序地层划分，中期基准面旋回可以分为对称性旋回和非对称性旋回两种类型。对称性旋回的转换点为前扇三角洲泥岩，垂向上储集物性从下到上依次由好变差又变好。非对称性旋回又可分为以上升为主的类型和以下降为主的类型。在由多个水下分流河道砂体叠置而形成的中期上升半旋回中，有效可容纳空间位置向陆地方向迁移，在近物源的环境中沉积物的体积增大。旋回上升初期的可容纳空间较小，沉积物没有经过充分的搬运和构造，沉积了一套近源堆积（近岸河道沉积）砂体，表现为分流河道沉积规模较大，沉积物粒度较粗^[7]，结构和成分成熟度较差，反映在物性上相对较差；随着基准面的上升，可容空间增大且向陆地方向迁移，相对而言沉积了一套远源堆积（远岸河道、河口坝、席状砂）砂体，反映在砂体沉积规模上逐渐减小，沉积物粒度逐渐变细，结构和构造成熟度相对变好，砂体物性也随之相对变好。

3.2 成岩作用对储集物性的影响

安棚深层系砂岩储层所经历的成岩作用主要有压实作用、胶结作用、溶解作用和交代作用等^[8]。安棚地区深层系紧邻深凹区，储层埋藏深，成岩作用强烈。研究认为，安棚深层系储层都已经历了强烈的机械压实作用（平均使原始孔隙度降低了 62.20%），并且胶结作用也十分强烈（平均使原始孔隙度降低了 16.00%），主要以碳酸盐类胶结（平均含量为 12.08%）和硅酸盐类胶结为主，其次是黏土矿物胶结作用、交代作用和溶解作用。黏土矿物成分研究结果表明：核三段下亚段储层中不含蒙皂石，高岭石和伊/蒙混层含量随深度增

加不断减少，而反映演化程度高的伊利石、绿泥石和伊/蒙混层中的伊利石层随深度增加而逐渐增加。根据安棚深层系镜质组反射率（1.10%~1.44%）、黏土矿物垂向变化特征（蒙皂石、高岭石消失，伊/蒙混层比多为10%）、古地温（大于130℃）、最大热解温度（大于455℃）、储层孔隙结构及岩石结构特征、铁白云石含量（高）、油气藏流体性质等诸方面研究结果，表明安棚深层系储层的成岩演化阶段进入晚成岩B期^[9]。

虽然深层系物性较差（平均孔隙度为4.53%，平均渗透率为1.09mD），但压溶作用较强，以方解石为主的胶结物发生溶蚀可产生次生孔隙，部分不稳定的长石和岩屑溶蚀也可形成次生孔隙。扇三角洲前缘亚相砂岩分选好，粒晶方解石胶结物发育，因而次生孔隙发育，是最有利的储集相带。同时，安棚鼻状构造由于受边界断裂控制而发生张性剪切扭动，伴生形成多期次高角度构造裂缝或微裂缝。通过观察井深3100~3400m不同深度的岩心铸体薄片，发现均不同程度地发育微裂缝，缝宽一般为40~220μm。泌252井试油层电测解释物性较差，但在压裂过程中施工压力不高，压裂后获高产油气流，这表明可能发育大量裂缝或微裂缝，提高了储层的渗流能力。

由于扇三角洲砂体成分及结构成熟度均较低，分选较差，加上埋藏较深，经历了长期的压实作用，成岩作用强烈，形成了较为致密的低孔低渗储层（表1）。但是，扇三角洲的有利储集相带、成岩后期的压溶作用、构造裂缝的发育以及烃类流体较早进入储层孔隙等均对储层物性具有较好的控制作用，能够有效地改善储层物性。同时，油气性质好，使安棚深层系低孔低渗油气藏成为具有一定经济价值的工业油气藏。

表 1 安棚深层系核三段下亚段储层物性统计表

井 号	样品数 (块)	储 层 物 性		碳酸盐含量 (%)
		平均孔隙度 (%)	平均渗透率 (mD)	
泌 185	104	5.19	1.09	12.13
泌 195	12	5.03	0.63	13.88
泌 211	22	2.57	0.68	16.25
泌 212	149	4.30	0.52	13.67
泌 213	46	4.09	1.26	14.89
泌 216	18	3.15	0.69	13.63
泌 246	19	4.79	3.37	12.18
泌 252	36	5.50	4.03	13.19
泌 253	60	3.75	0.50	10.22
泌 254	19	2.96	0.47	11.17
平均		4.36	1.09	12.13

4 油气分布规律及油气藏类型

4.1 油气分布规律

含油气井段长，2900~3520m 近 620m 的井段中都不同程度地含有油气；含油气层多，核三段Ⅳ—Ⅸ油组及大仓房组共有 81 个砂层，其中 42 个含有油气；核三段Ⅴ—Ⅵ油组油气

层相对集中,共26层,占62%。平面上,油气层沿鼻状构造的轴部展布,分布规律与砂体的展布形态有关,主要分布在分流河道的中近端,并随着层位加深含油气区由南向北逐步迁移,明显受砂体展布规律及沉积相带控制。

4.2 油气藏类型及流体性质

安棚深层系具有来自栗园和平氏方向的砂体,它们与安棚鼻状构造相配置可以形成上倾尖灭或侧缘上倾尖灭圈闭。两个不同方向的物源所形成的分流河道侧缘的交汇区砂岩物性较差,形成干带,造成物性封堵而形成圈闭条件。因此该区油藏类型主要为砂岩(及侧缘)上倾尖灭油藏,受沉积相带和构造背景控制。在剖面上呈阶梯状(或叠瓦状)展布,平面呈椭圆形展布,主要分布于鼻状构造的轴部。根据原油物性、高压物性 pVT 等资料分析研究,油气流体性质从浅至深依次为正常原油、挥发性原油、凝析气和天然气(图1)。

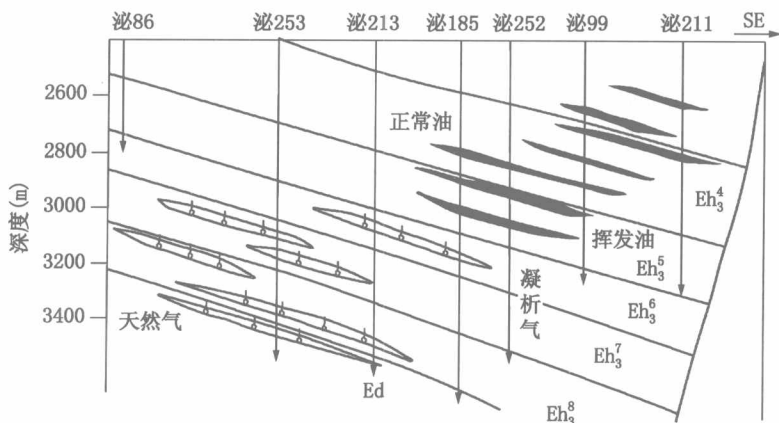


图1 安棚深层系油藏剖面示意图

5 结论及认识

(1) 安棚深层系储层孔喉分布状况差,结构复杂,喉道微细且不均匀,致密低渗是该套储层的突出特点。

(2) 陡坡带扇三角洲沉积环境,决定了深层系砂岩为快速堆积,颗粒大小混杂,分选差,成分成熟度和结构成熟度低,是导致深层系低渗的先决条件。较为严重的机械压实作用和化学压溶作用,是导致致密低渗的原因之一。储层裂缝发育,有效改善了储层的渗流条件。研究认为,沉积相、成岩作用和构造作用是控制本区储层储集性能的3个主要因素。

(3) 油藏类型主要为砂岩上倾尖灭油藏,构造高部位及有利的沉积相带是油气聚集的有利场所。

参考文献

- [1] 河南油田石油地质志编写组. 中国石油地质志. 北京: 石油工业出版社, 1992
- [2] 李显路, 曾小阳, 等. 安棚深层系储层孔隙度计算方法研究. 河南石油, 2004, 18 (6)
- [3] 裘亦楠, 薛叔浩. 油气储层评价技术. 北京: 石油工业出版社, 1994
- [4] 裘亦楠, 薛叔浩, 应凤祥. 中国陆相油气储集层. 北京: 石油工业出版社, 1997

- [5] 李道品, 低渗砂岩透油田开发. 北京: 石油工业出版社, 1997
- [6] 王国鹏, 郑俊茂, 樊中海, 等. 泌阳凹陷安棚鼻状构造的沉积成因及裂缝分布. 石油学报, 2005, 26 (2)
- [7] 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学. 石油与天然气地质, 1995, 16 (2)
- [8] 王振奇, 侯国伟, 张昌民, 等. 赵凹油田安棚地区深层系低渗致密砂岩储集特征. 石油与天然气地质, 2001, 22 (4)
- [9] 罗蛰潭, 王允诚. 油气储集层的孔隙结构. 北京: 科学出版社, 1986

安塞油田坪桥区裂缝侧向挖潜技术研究

王 萍 熊维亮 柳良仁 余光明 贾军红

(中国石油长庆油田公司勘探开发研究院)

摘 要 针对安塞油田坪桥区主向油井见水快、易水淹,而裂缝侧向油井单井产能低、见效程度低,侧向剩余油富集的现状,开展裂缝侧向剩余油挖潜技术研究,以期提高裂缝侧向水驱储量动用程度,改善裂缝侧向开发效果。本文主要研究了沿裂缝注水、侧向加密、复压引效等挖潜技术,为下一步安塞油田裂缝区的开发调整提供技术储备和依据。

关键词 裂缝 注水 加密 重复压裂

坪桥区是安塞油田投入注水开发较早的区块之一,该区裂缝主向油井见水较快,侧向油井见效程度差,单井产能低,长期处于低产低效的被动局面。经过综合治理得到较大的改善,但开发效果仍然不太理想。

通过本文的研究,分析坪桥区稳产措施效果,挖潜新技术,提高裂缝侧向水驱储量动用程度,改善开发效果,对类似油藏的开发有较强指导意义。

1 概 况

1.1 储层地质特征

坪桥区油层为三叠系延长组长 6 油层,主力油层为长 6₁,油藏埋深 1100~1300m,油层平均厚度为 13.3m,油田构造极为平缓,倾角不足 1.0°,河湖三角洲沉积,成岩后生作用强烈,以次生孔隙为主,属小孔喉高密度分布的低渗致密酸敏性砂岩,为典型沉积—成岩作用的特低渗砂岩油藏。

储层微裂缝发育,裂缝方位与砂体走向基本一致,裂缝分布不均匀,在原始压力下一般呈闭合状态。油层物性较差,平均空气渗透率为 0.96mD,孔隙度为 11.0%,原始含油饱和度为 55.1%,原始地层压力为 8.17MPa,地层原油饱和压力为 4.91MPa。

1.2 勘探开发历程

1983 年坪桥区塞 5 井在长 6 油层经压裂后获得工业油流,1984—1986 年集中勘探,共探明含油面积 112km²,地质储量为 5000×10⁴t,溶解气储量为 26.1×10⁸m³。该区块先后经历了探井试采、先导性开发试验和大规模建产上产阶段,1994 年开始投入注水开发。2006 年底,坪桥区已累积动用含油面积 62.7km²,地质储量为 3240.1×10⁴t,建产能 55.5×10⁴t/a,2006 年年产油 18.2×10⁴t。

2006 年 12 月,油井开井数 350 口,日产液水平为 717t,日产油水平为 512t,井日产水平为 1.5t,综合含水为 28.6%,地质储量采油速度为 0.58%,地质储量采出程度为 7.9%;注水井开井 135 口,日注水平为 3260m³,单井日注 24m³,月注采比为 3.64,累积注采比为 2.6。

2 开发效果评价

该区块油层吸水稳定，注水波及状况良好。目前油压为 8.5MPa，套压为 7.9MPa，单井日注 24m³，视吸水指数为 2.81，水驱指数为 3.90，存水率为 0.94。

由于平面非均质性和裂缝发育程度差异，造成区块东、西部和裂缝主、侧向压力差异大。通过开展沿裂缝注水等试验，裂缝侧向压力缓慢上升，平面上压力分布有所改善；油井见效范围扩大，但增产幅度较小（表 1、表 2）。

表 1 坪桥区历年压力统计 单位：MPa

年份 区域		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
东部	主向	16.84	16.53	18.33	17.75	17.59	16.16	17.19	17.06	16.85
	侧向	6.28	6.19	5.76	6.45	6.40	7.02	7.00	7.32	7.43
	平均	9.81	10.97	10.57	8.19	7.40	7.50	7.30	7.32	7.48
西部	平均	7.38	8.28	9.33	9.07	8.75	8.57	7.75	7.73	7.45
全区	平均	10.4	10	10.19	8.46	7.55	7.94	7.46	7.49	7.73

表 2 坪桥区见效井统计表

坪桥区	见 效 井										见效 周期 (mon)	稳产期 (mon)	见水 周期 (mon)
	初产 (t/d)	见 效 前				见 效 后				恢复最 高产量 (t)			
		日产液 (t)	日产油 (t)	含水 (%)	动液面 (m)	日产液 (t)	日产油 (t)	含水 (%)	动液面 (m)				
东部侧向	2.57	1.58	1.14	12.2	1090	2.53	1.89	11.6	1073	2.55	24.9	14.6	59.0
东部主向	2.46	1.73	1.28	13.1	974	2.59	1.68	25.1	940	2.54	13.0	6.1	17.6
西部	3.29	2.37	1.75	12.0	1053	3.28	2.35	15.5	1063	3.51	17.9	15.3	20.7
全区	3.00	2.09	1.54	11.9	1029	3.00	2.13	16.9	1020	3.15	17.6	11.9	20.2

东部微裂缝发育，造成主向井含水上升较快，油井产量递减较大，2006 年年产油为 0.86×10⁴t，综合含水 32.1%；侧向井含水上升慢，递减相对较小，2006 年年产油为 6.18×10⁴t，综合含水 17.7%。裂缝对产量递减影响较大。

由于注入水沿裂缝方向窜流，造成裂缝侧向注入水波及范围小，水驱储量动用程度低，裂缝侧向剩余油富集（如图 1、图 2 所示），特开展挖潜技术研究，以期改善裂缝发育区开发效果。

3 挖潜技术研究

3.1 沿裂缝注水

为提高裂缝线侧向油井见效程度和单井产能，从 1996 年 5 月开始实施沿裂缝强化注水试验。目前裂缝线已有 10 条，主要分布在坪桥区东部，平均单井日注由 24m³上升到 35m³，注水强度由 1.6m³/(d·m) 提高到 2.8m³/(d·m)，通过开展沿裂缝注水试验，侧向油井压