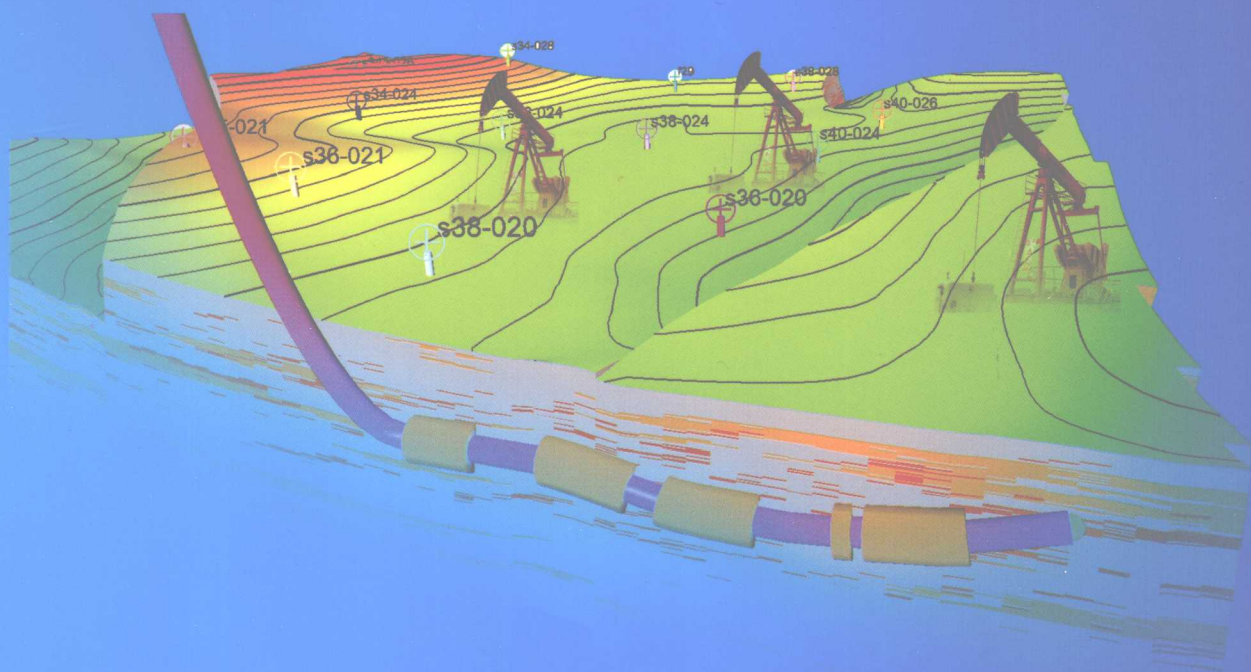


DAQING CHANGYUAN DONGBU  
DISHENTOU YOUTIAN  
KAIFAJISHUSHIJIAN LUNWENJI

# 大庆长垣东部低渗透油田

开发技术实践论文集 (2006—2007年)

王洪星 王再山 张成木 主编



石油工业出版社

# 大庆长垣东部低渗透油田开发技术实践 论文集（2006—2007 年）

王洪星 王再山 张成木 主编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书汇集了大庆长垣东部低渗透油田即第八采油厂地区“十一五”前两年优秀科技论文,分为油藏工程、采油工程、地面工程及信息工程四个部分。本书主要介绍了精细地质研究、特低丰度葡萄花油层水平井开发技术、特低渗透扶余油层有效开发以及采油、地面工程相关配套优化工艺、A2推广应用以及油田开发信息化数字地宫的建设等方面的最新研究成果。

本书可供从事低渗透油田开发的工程技术人员、管理人员以及科研人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

大庆长垣东部低渗透油田开发技术实践论文集: 2006~2007 年/王洪星, 王再山, 张成木主编. —北京: 石油工业出版社, 2008. 10

ISBN 978-7-5021-6838-4

I. 大…

II. ①王…②王…③张…

III. 低渗透油层—油田开发—大庆市—文集

IV. TE348—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 164991 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) 64210392

经 销: 全国新华书店

排 版: 北京时代澄宇科技有限公司

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

---

2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 29

字数: 739 千字 印数: 1—1000 册

---

定价: 98.00 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

# 《大庆长垣东部低渗透油田开发技术实践 论文集 (2006—2007 年)》

## 编 委 会

主 编：王洪星 王再山 张成木

副主编：王德金 卢东风 姜洪福 方 庆 沈宝明

编 委：刘云燕 王 同 姬生柱 纪宝君 刘云秀

雷友忠 张宝忠 王新刚 单春艳 吴北光

刘 渤 张 财 齐云阶 王 宏 王庐峰

许庆军 程志学 孙 宏 郭军涛 闫丽萍

王庆莲 华丽威 管丽华 王宗文 董春艳

李艳秋 李晓霞 张秀娥 艾春江

# 前 言

在大庆油田提出 4000 万吨原油持续稳产之际，大庆油田有限责任公司第八采油厂组织编写了这本凝聚全厂广大科技工作者心血的《大庆长垣东部低渗透油田开发技术实践论文集（2006—2007 年）》一书，旨在总结“十一五”前两年油田开发和科技创新所取得的经验和成果，以指导油田后续的有效开发。

几年来，第八采油厂广大科技工作者在大庆精神、铁人精神的指引下，认真贯彻“高水平、高效益、可持续发展”的油田开发方针，紧紧围绕油藏科学评价、难采储量有效动用、老油田递减控制、配套技术攻关和成熟技术推广应用等工作重点，不断开拓创新，联合技术攻关，在精细油藏描述、特低丰度葡萄花油层水平井开发、特低渗透扶余油层的有效动用、电潜柱塞泵举升工艺配套技术、地面优化简化模式、A2 系统的推广和油田信息数字化地宫的建设等方面均取得了丰硕的成果。而今将其汇集于此书，既是全厂优秀科技成果的集中展示，也是全厂科技工作者的刻苦钻研精神的写照。

希望本书的出版会为广大科技工作者提供一个相互学习的机会。同时，为外围特低渗透油田的开发以新的启示，为创建百年油田和 4000 万吨持续稳产做出更大更新的贡献！

编 者

2008 年 9 月

# 目 录

## 第一部分 油藏工程

|                                                |     |     |      |       |
|------------------------------------------------|-----|-----|------|-------|
| 特低渗透扶杨油层有效开发试验研究 .....                         | 皮蔚峰 | 苏继春 | 闫丽萍等 | (3)   |
| 关于州 201 试验区前期工作几点认识 .....                      | 赵国石 | 张庆斌 | 熊 霄等 | (6)   |
| 大庆长垣外围特低渗透扶杨油层 CO <sub>2</sub> 非混相驱油试验研究 ..... | 李秀娟 | 梁玉艳 | 王志华等 | (12)  |
| CO <sub>2</sub> 吞吐在注气试验区的适应性探讨 .....           | 熊 霄 | 李春冬 | 刘 涛等 | (17)  |
| 升 30-26 井区高含水期提液试验研究 .....                     | 闫丽萍 | 皮蔚峰 | 熊 霄等 | (24)  |
| 升 30-26 井区葡萄花油层聚表剂驱现场试验阶段性认识 .....             | 夏雨晖 | 刘凤龙 | 贾福林等 | (30)  |
| 升平油田高含水期合理提液技术与认识 .....                        | 刘凤龙 | 姚玉庆 | 赵海英等 | (34)  |
| 三肇地区扶杨油层断裂特征及对油气控制作用研究 .....                   | 宋 静 | 张小桐 | 李晓敏等 | (41)  |
| 水平井综合调整方法研究 .....                              | 郭 新 | 王宗文 |      | (51)  |
| 水平井注水开发特征分析 .....                              | 高 瑞 | 张国臣 | 魏小兵等 | (57)  |
| 扶余油层储层预测方法研究 .....                             | 任红莎 | 范彩匣 | 黄德利等 | (65)  |
| 三维相控属性建模方法及成果应用探讨 .....                        | 金久玲 | 范彩匣 | 郭军涛等 | (74)  |
| 综合应用测井技术与多学科方法深化水平井区油藏描述 .....                 | 宋 静 | 田彩霞 | 刘云燕等 | (78)  |
| 外围东部葡萄花低阻油层显示特征及形成原因分析 .....                   | 潘国辉 | 孙 瑞 | 彭承文等 | (83)  |
| 新井投产过程中的几点做法及取得的认识 .....                       | 孙 瑞 |     |      | (88)  |
| 肇州油田储量套改工作的几点做法和取得的认识 .....                    | 胡向义 | 韩福成 | 于长焕等 | (93)  |
| 旋转式井壁取心技术在油田开发中的应用 .....                       | 于长焕 | 韩福成 | 潘国辉等 | (98)  |
| 肇州油田扶余油层有效储层划分标准研究 .....                       | 王 瑜 | 宋 静 | 田彩霞等 | (103) |
| 过套管电阻率测井技术在采油八厂的应用 .....                       | 胡向义 | 梁艳霞 | 郭 峰等 | (109) |
| 卫星油田卫 23-1 区块油藏评价研究 .....                      | 彭承文 | 杨永辉 | 李 庆等 | (114) |
| 宋芳屯油田芳 306 区块葡萄花油层开发井网适应性探讨 .....              | 崔云华 | 张庆斌 |      | (120) |
| 肇州油田葡萄花油层布井方式探讨 .....                          | 韩宏英 |     |      | (125) |
| 非均质油藏压力系统调整问题探讨 .....                          | 姚玉庆 | 刘凤龙 | 汝新英等 | (132) |
| 不同井距开发效果分析 .....                               | 汝新英 |     |      | (141) |
| 八厂油田中高含水区块提高采收率潜力分析 .....                      | 邵志勇 | 赵德利 | 张国臣等 | (145) |
| 已开发区块注水调整的认识 .....                             | 鞠晓光 | 冷小勇 | 杨绩伟等 | (151) |
| 八厂油田葡萄花油层注水井钻关规律研究 .....                       | 冷小勇 | 张秀云 |      | (157) |
| 低渗透砂岩油藏注水井转抽效果分析 .....                         | 康立娜 | 崔秀丽 | 李春东等 | (163) |
| 永乐油田合理注采比探讨 .....                              | 杜亚荣 | 宋 巍 | 韩 丽等 | (168) |

## 第二部分 采油工程

|                              |              |       |
|------------------------------|--------------|-------|
| 单井经济技术评价分析探讨 .....           | 姬生柱 谢桂茹 刘艳娟等 | (177) |
| 延长电潜柱塞泵井检泵周期的技术对策及效果分析 ..... | 葛东元 齐 笛 曹艳玲等 | (185) |
| 电潜柱塞泵井无线监控系统研究与应用 .....      | 曹艳玲          | (190) |
| 双作用封井器在第八采油厂的试验与应用 .....     | 王希涛 雍安娟 蔡拥军等 | (195) |
| 油井作业杆、管断治理技术界限研究 .....       | 吴 刚          | (198) |
| 油井抽油杆偏磨原因分析及对策 .....         | 高洪财 高艳芹 张守国等 | (205) |
| 抽油杆现场检测技术研究与应用 .....         | 吴 刚          | (209) |
| 机采动态管理系统数据库的研究与应用 .....      | 张 建 杨红艳      | (215) |
| 优化油井运行参数在机采精细化管理中的积极影响 ..... | 李春艳          | (222) |
| 提捞采油井口封堵技术研究及应用效果 .....      | 李 伟 吴占庆 崔淑香  | (227) |
| 单干管注水井地面定量配水技术可行性研究 .....    | 张玉柱 文斌       | (230) |
| 低渗透油田抽油机机型优化试验研究 .....       | 姜兆辉 谢桂茹 付丽等  | (237) |
| 地关井可钻桥塞封井工艺技术试验与应用 .....     | 王希涛 李春艳 雍安娟等 | (245) |
| 注水井验封工艺技术研究 .....            | 邵艳梅 张玉柱 于 宙等 | (249) |
| 射孔新工艺、新技术应用现状及前景分析 .....     | 姜兆辉 顾 平 赖江敏等 | (254) |
| 井下作业污染控制技术探讨 .....           | 艾春江          | (260) |
| 低渗透油田单井产量计量方法探讨 .....        | 王庆莲 张 伟 沈卫军  | (262) |
| 示功图法量油技术探讨 .....             | 孙允志 聂孟义 孟宪丽等 | (266) |

## 第三部分 地面工程

|                                |              |       |
|--------------------------------|--------------|-------|
| 水力调压泵技术应用的探讨 .....             | 杨 雷 徐晓娟 刘志宏等 | (273) |
| 第八采油厂节电潜力分析 .....              | 杨传亮 杨志勇 张秀娥等 | (279) |
| 宋芳屯油田南部及肇州油田节能潜力分析与对策 .....    | 王宏喜 吴 丹 满志国等 | (284) |
| 油田高耗设备节能技术改造的探讨 .....          | 王 钊 马 冰 文 斌  | (293) |
| 集污斗过滤技术在油田污水处理上的应用效果 .....     | 华丽威          | (296) |
| 影响污水处理效果因素分析 .....             | 刘春丽 李江涛 向阳臣  | (300) |
| 聚偏二氟乙烯膜过滤技术在油田污水处理上的试验效果 ..... | 许庆红          | (305) |
| 徐3脱水站工艺选择的探讨 .....             | 金 丽          | (310) |
| 水质站清、污水水质处理工艺优化 .....          | 郭 旭          | (315) |
| 热化学三相分离器技术在原油脱水中的应用与研究 .....   | 王宏喜 宋旭东 李江涛等 | (319) |
| 油田道路系统技术现状及完善的建议 .....         | 姜 雷          | (326) |
| 管道泄漏监测报警定位系统在油田上的应用 .....      | 张亚男          | (330) |
| 埋地钢制管道阴极保护技术应用 .....           | 周立辉          | (335) |
| 第八采油厂宋二联合站自动化改造技术探讨 .....      | 王 钊          | (339) |
| 抽油机单井电量计量监测技术探讨 .....          | 李春艳          | (343) |
| 质量流量计在徐3联合站应用的几点认识 .....       | 孙允洪 张玉梅 王立平  | (347) |
| 配电网远程故障定位技术研究 .....            | 邵 才 张秀娥 马昌俊  | (352) |
| 变电站综合自动化系统存在问题分析及措施探讨 .....    | 张秀娥 王庐峰 李 明等 | (355) |

## 第四部分 信息工程

|                                      |     |     |      |       |
|--------------------------------------|-----|-----|------|-------|
| A2 在第八采油厂推广应用分析 .....                | 陶胤兴 | 单春燕 | 于海燕等 | (361) |
| A2 油水井子系统在油田生产中的应用情况浅析 .....         | 曹 丹 | 孙天赐 | 杜春英等 | (366) |
| 油藏开发方案编制辅助分析系统的设计与实现 .....           | 孙士梅 | 聂 晶 | 杜彦章等 | (370) |
| 数字化地宫的建设与应用研究 .....                  | 宋旭东 | 薛东旺 | 康立娜等 | (380) |
| 运用分类法搞好数据库建设 .....                   | 杜彦章 | 姜春梅 | 高凤贤等 | (384) |
| 第八采油厂企业网优化方案探讨 .....                 | 赵 宇 | 管丽华 | 刘 毅等 | (390) |
| 基于 Spring 技术的油田生产数据采集系统实现方法 .....    |     |     | 于海燕  | (396) |
| 基于 OLE 与 VBA 技术的曲线绘制软件实现 .....       |     | 聂 晶 | 于春生  | (405) |
| 基于 OpenGL 标准实现油藏信息三维可视化技术应用与探讨 ..... |     |     | 贾少飞  | (411) |
| Unix 系统在油田系统管理中应用的优势分析 .....         |     |     | 贾少飞  | (415) |
| 第八采油厂无线网改造实施方案探讨 .....               |     |     | 赵 宇  | (418) |
| 《数据质量分析评估系统》在第八采油厂数据库建设中的应用<br>..... | 那双慧 | 张慧丽 | 丛立华等 | (432) |
| 门户子站点备份与恢复 .....                     | 陶胤兴 |     | 李海霞  | (439) |
| 汉王笔手写签名在 delphi 中的实现 .....           |     |     | 罗安军  | (444) |
| 如何禁止修改 IP 地址 .....                   | 赵 宇 | 刘 毅 | 丁宝星等 | (447) |

# 第一部分 油藏工程



# 特低渗透扶杨油层有效开发试验研究

皮蔚峰 苏继春 闫丽萍 郭丽影

(大庆油田第八采油厂地质大队)

**摘要:**截至 2004 年底,大庆外围扶杨油层有近  $3 \times 10^8$ t 难采储量未动用,储层渗透率小于 1.5mD,原油流度小于 0.35mD/(mPa·s)。为盘活这部分储量资产,2006 年底,在肇州油田州 201 区块开展了特低渗透扶杨油层有效开发工业化矿场试验,探索经济有效开发的途径。通过油藏、钻井、采油和地面工程四大系统联合攻关,初步形成了一套适合特低渗透、裂缝不发育的扶杨油层有效开发配套技术——“大井距、小排距、大型整体压裂和高注采比”,在油水井间建立起了有效驱动体系,大部分油井见到了注水效果,对扶杨油层大规模开发具有重大的指导意义。

**关键词:**扶杨油层 有效开发

## 1 试验目的及意义

截至 2004 年底,大庆外围扶杨油层有近  $3 \times 10^8$ t 难采储量未动用,储层渗透率小于 1.5mD,原油流度小于 0.35mD/(mPa·s)。为盘活这部分储量资产,急需开展特低渗透扶杨油层有效开发工业化矿场试验,探索经济有效开发的途径。通过油藏、钻井、采油和地面工程四大系统联合攻关,力争形成一套适合特低渗透、裂缝不发育的扶杨油层有效开发配套技术,提高储量动用程度,指导扶杨油层大规模开发。

## 2 试验区基本情况

2005 年,在肇州油田州 201 区块开展了特低渗透扶杨油层注水开发工业化矿场试验。试验区位于三肇凹陷肇州油田北部,行政区属大庆市肇州县,距离肇州县城约 4km。开发目的层为扶余油层,油层中部深度 1880m。以河流、湖泛相沉积的泥岩、泥质粉砂岩、细砂岩互层为主,邻近的州 2 开发区块扶余油层平均单井钻遇砂岩厚度 20.6m,有效厚度 8.2m。主力油层为 FI5、FI6、FI7 和 FII5,砂体多呈南北向条带分布,以窄小分流河道砂体沉积为主。

试验区采用 300m×60m、360m×80m 和 400m×80m 共三种井网部署试验井 53 口,采油井 31 口(其中水平井 2 口),注水井 22 口(其中水平井 1 口)。动用含油面积 1.64km<sup>2</sup>,地质储量 65.7×10<sup>4</sup>t。井排方向为主地应力方向,即东西向。3 口水平井目的层为砂体发育较好的 FI5、FI7 和 FII5 层,设计水平段方位与裂缝方位一致(东西向),水平段长度 500~600m。

## 3 现场试验效果分析

### 3.1 主要技术指标达到了试验方案设计要求

与试验方案对比,试验区初期和目前指标均达到了方案要求。试验区 29 口直井油井平均单井射开并压裂砂岩厚度 15.0m,有效厚度 8.7m,投产初期平均单井日产液 4.2t,日产油 3.9t

[采油强度  $0.45\text{t}/(\text{d} \cdot \text{m})$ ],含水  $8.0\%$ ,动液面  $1269\text{m}$ 。同期投产的水平采油井肇 33 - 平 28 井采取限流压裂完井,该井于 2007 年 1 月 15 日投产,投产第一个月实际平均日产油  $8.5\text{t}$ ; 2008 年 1 月压裂投产肇分 31 - 平 28 井上分支,第一个月实际平均日产油  $9.8\text{t}$ 。这两口水平井初期平均日产油  $9.2\text{t}$ ,达到了方案设计指标(日产油  $8\text{t}$ )的要求。

### 3.2 矩形井网与整体压裂相结合,使扶杨油层建立了有效驱动体系

#### 3.2.1 注水井吸水能力较强,注入压力上升速度较低

定向射孔、大规模整体压裂投注的州 201 试验区 21 口直井注水井,初期注水强度  $3.83\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$ ,是储层条件相同、采用普通压裂投注的州 2 试验区初期注水强度 [ $1.43\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$ ] 的 2.7 倍,但二者油压基本相当 ( $12.8 \sim 13.0\text{MPa}$ );单位有效厚度视吸水指数为  $0.29\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m})$ ,是州 2 试验区 [ $0.11\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m})$ ] 的 2.6 倍。可见,州 201 试验区直井注水井初期吸水能力明显高于州 2 试验区。随着注入 PV 数的增加,州 201 试验区的注入压力上升速度明显低于州 2 试验区。表明州 201 试验区大规模整体压裂形成的裂缝降低了油水井间的注采压差,建立了有效驱动体系。其中  $300\text{m} \times 60\text{m}$  井网注入压力上升速度最慢,主要由于这部分油水井位于砂体发育较好部位,水驱控制程度较高,油井受效相对较好; $360\text{m} \times 80\text{m}$  和  $400\text{m} \times 80\text{m}$  井网注入压力上升速度稍高于  $300\text{m} \times 60\text{m}$  井网,主要由于这两种井网厚度较小、物性较差,且井网完善程度较低,受效也相对较差。

#### 3.2.2 油井见到明显注水效果,产量保持程度较高

为了研究特低渗透扶杨油层注水开发的受效特征,分析了州 201 试验区 3 口孤立井和州 2 试验区全部油井的产量变化规律。其中,州 201 试验区 3 口孤立井初期单井日产液  $4.0\text{t}$ ,3 个月后下降到  $1.5\text{t}$ ,月递减幅度  $20.8\%$ ;之后单井日产液缓慢下降到第 17 个月的  $0.6\text{t}$ ,为投产初期的  $17.5\%$ 。州 2 试验区 5 口采油井初期单井日产液  $5.1\text{t}$ ,3 个月后下降到  $1.0\text{t}$ ,月递减幅度  $27\%$ ;之后单井日产液缓慢下降到第 17 个月的  $0.7\text{t}$ ,为投产初期的  $13.7\%$ 。州 201 试验区有连通关系的直井生产 17 个月后,平均产液量保持(恢复)程度为  $53.0\%$ 。其中  $300\text{m} \times 60\text{m}$ 、 $360\text{m} \times 80\text{m}$  和  $400\text{m} \times 80\text{m}$  三种井网产量保持(恢复)程度分别为  $53.3\%$ 、 $69.7\%$  和  $44.1\%$ 。

#### 3.2.3 地层压力保持较高水平

试验区原始地层压力  $20.6\text{MPa}$ ,开发一年后,平均地层压力下降到  $14.7\text{MPa}$ ,总压差  $-5.9\text{MPa}$ ,压力保持水平  $71.4\%$ ,是州 2 试验区压力保持水平( $41.7\%$ )的 1.7 倍。

上述分析表明,州 201 试验区采取大井距、小排距的矩形井网和大规模整体压裂投产方式,使扶杨油层建立起了有效驱动体系。

### 3.3 高注采比注水使试验区取得了较好开发效果

州 201 试验区在试验前进行了扶杨油层储层微观特征研究,在搞清储层孔隙结构和渗流特征的基础上,采取高注采比进行注水开发,目前累积注采比 6.15。分析扶杨油层注采比较高,主要有以下三方面原因:

#### (1) 扶杨油层退汞效率低。

从扶杨油层典型的毛管压力曲线测试结果看,最大汞饱和度  $73.57\% \sim 89.18\%$ ,残余汞饱和度  $51.41\% \sim 67.83\%$ ,退汞效率只有  $8.34\% \sim 28.76\%$ 。主要由于扶杨油层大部分孔隙排驱压力较高,流体在注入压力较高时可以进入这部分孔隙,但不能起到驱替作用,导致注采比较高。将进汞、退汞效率折算成注采比为  $3.10 \sim 8.14$ ,平均  $4.36$ 。

#### (2) 砂岩吸水。

州 201 试验区射开并压裂砂岩厚度 15.0m,有效厚度 7.6m,平均单井射开纯砂岩厚度 7.4m。从吸水剖面测试结果看,砂岩具有较强的吸水能力,从而导致试验区注采比偏高。

(3)部分井区存在无效注水。

对比统计试验区吸水、产液剖面资料,在水井端吸水而油井端不产液的层砂岩厚度 81.7m、有效厚度 33.5m,相对吸水量 40.3%、绝对吸水量  $157\text{m}^3$ 。也即是说,有大约 40% 的无效注水量,是导致注采比偏高的又一原因。

综合上述分析可见,扶杨油层退汞效率低、砂岩吸水及部分井存在无效注水等原因,导致注采比较高。州 201 试验区自投产以来,一直采取高注采比注水,目前累积注采比 6.15,使试验区取得了较好的开发效果。

### 3.4 与直井相比,水平井产量递减较缓

分别以肇 33 - 平 28 井、肇分 31 - 平 28 井和试验区直井采油井的初期产液量为基数,将这些井后续三个月的产液量(每 10d 一个点)除以各自的基数,即为无因次日产液。分析看出,超前注水的肇分 31 - 平 28 井产液量递减幅度最小,投产 3 个月,月平均递减幅度 10%;同步注水的肇 33 - 平 28 井产液量递减幅度次之,月平均递减幅度 16.7%;其余直井第一个月递减幅度达到 25%,后两个月递减逐渐减缓,分别为 16% 和 15%。

### 3.5 试验区取得了较好的经济效益

该项目总投资 19572.9 万元,其中:建设投资 18619.6 万元;建设期利息 953.3 万元。按建设投资计算平均单井投资 351.3 万元。评价期内,税后财务内部收益率 13.82%,财务净现值为 2131.77 万元,投资回收期为 6.32 年,各项指标高于行业基准指标,试验区经济效益较好。

## 4 结论

经过近三年的现场试验,初步形成了一套适合特低渗透、裂缝不发育的扶杨油层有效开发配套技术——“大井距、小排距、大型整体压裂和高注采比”,在油水井间建立起了有效驱动体系,大部分油井见到了注水效果,对扶杨油层大规模开发具有重大的指导意义。

### 参考文献

- 1 王俊魁. 油气藏工程方法研究与应用. 北京:石油工业出版社,1998
- 2 孙黎娟. 油藏启动压力的规律研究与应用. 北京:石油工业出版社,1998
- 3 袁士义等著. 裂缝性油藏开发技术. 北京:石油工业出版社,2004

**作者简介** 皮蔚峰,男,1973 年生,工程师。电话:0459 - 4511473, E-mail: piweifeng@petrochina.com.cn。

# 关于州 201 试验区前期工作几点认识

赵国石 张庆斌 熊 霄 陶丽艳

(大庆油田第八采油厂地质大队)

**摘要:**大庆长垣外围有  $3.7 \times 10^8 \text{t}$  特低渗透扶余油层储量,在普通井网注水开发条件下不能经济有效动用,为了能够有效动用扶余油层储量,提高单井产量及采收率,开展了州 201 矩形井网行列注水结合大型压裂,并配合水平井或分支水平井开发试验。通过研究薄互层砂岩储层主体河道砂预测技术、储层微观特征、储层砂体分布特征、地应力分布特征研究、储层油水分布等方面,确定井网和压裂裂缝分布方位,探索低渗透油田有效动用。目前室内试验等各种方案都已完成,正在进行压裂投产,本文阐述前期工作的几点认识。

**关键词:**特低渗透 扶余 有效动用 矩形井网 整体压裂

## 1 开发试验区的目的意义

第八采油厂扶余油层未动用含油面积  $195.8 \text{km}^2$ ,地质储量  $7941 \times 10^4 \text{t}$ ,占全厂未动用储量的 47.6%。这部分储量具有“四低、两差”特点:储层渗透率低(平均空气渗透率  $1 \text{mD}$  左右)、流度低[平均  $0.2 \text{mD}/(\text{mPa} \cdot \text{s})$ ]、可动油饱和度低(平均 15%)、储量丰度低(平均  $40.6 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$ )、砂体稳定性差和油层连通差,普通注水没有收效显示,没有效益。

为探索特低渗透、裂缝不发育扶余油层经济有效开发的技术途径,2005 年优选肇州油田州 201 区块为工业化开发试验区。

## 2 试验区概况

该试验区位于肇州油田北部,开发目的层为扶余油层,地层厚度  $170 \text{m}$ ,油层中部深度  $1880 \text{m}$ 。以河流、湖泛相沉积的泥岩、泥质粉砂岩、细砂岩互层为主,邻近开发区块扶余油层平均单井钻遇砂岩厚度  $20.6 \text{m}$ ,有效厚度  $8.2 \text{m}$ 。主力油层为 FI5、FI6、FI7 和 F II 5,砂体多为南北向条带分布,以窄小分流河道砂体沉积为主。2005 年 3 月,以地震资料解释结果为依据,在特低渗透储层井网优化设计技术研究的基础上,编制了州 201 井区试验方案。

采用矩形井网、线性注水方式开发,通过人工压裂裂缝与井网优化配置,并配合水平井或分支水平井开发试验。试验区共部署开发井 50 口,其中水平井 3 口,外扩开发首钻井 2 口。在主体河道砂发育的州 201 井区东侧采用  $400 \text{m} \times 100 \text{m}$  的水平井一直井联合开发井网;储量丰度相对较高的州 201 井区采用  $300 \text{m} \times 60 \text{m}$  的开发井网;多油层发育的肇 28-30 井区采用  $400 \text{m} \times 80 \text{m}$  的开发井网。预测平均单井有效厚度  $8.6 \text{m}$ ,动用含油面积  $2.0 \text{km}^2$ ,地质储量  $95 \times 10^4 \text{t}$ 。

### 3 前期工作

#### 3.1 薄互层砂岩储层主体河道砂预测技术研究

##### 3.1.1 精细地震资料处理,保证较高的信噪比和分辨率

针对该区原始资料存在大量面波、50Hz 和野值干扰,薄互层发育、断层多、扶杨油层构造较复杂等特点,除采用常规的几何扩散补偿、地表一致性振幅处理、三维 DMO 叠加、叠后提高分辨率等处理技术外,主要采取叠前分频去噪处理和高频速度分析处理技术,有效提高了地震资料的信噪比和分辨率。

##### 3.1.2 应用全三维可视化解释和变速成图技术,提高构造解释精度

运用相干分析、三瞬体辅助分析、可视化等全三维解释技术,结合地质应力规律,确保了断层、层位准确可靠。

##### 3.1.3 应用 JASON 软件进行储层预测,部署试验井位

采用约束稀疏脉冲反演和地震属性反演方法进行地震一测井联合反演与砂体追踪。对主力油层 FI5、FI6、FI7、FII3、FII5 进行了砂体追踪。从砂体预测结果分析,该区砂体主要分布呈南北向。其中 FI5 号层砂体主要分布在肇 28-30 井以东地区,砂体宽度 1.5~2km,呈南北向条带分布。FI7 层砂体平面分布范围和厚度较大,是该区的主力油层。

#### 3.2 试验区油藏精细地质研究

##### 3.2.1 储层砂体分布特征

通过完钻井分析,试验区储层主要为分流河道砂体、点坝、天然堤及砂质浅滩等,形态多呈透镜状、短条带状,河道方向主要为 NE-SW 向。断层较发育,油水关系主要受砂体规模及断层影响,表现为上油下水。FI 组为纯油层,FII 及 FIII 组发育水夹层,油底变化较大,为岩性油藏。FI5、FI7 层钻遇率较高,砂岩钻遇率 90% 左右,有效钻遇率 65% 以上,其次是 FI6 和 FI4 层,FII、FIII 组油层普遍发育较差。试验区单层砂岩及有效厚度主要分布在 1~4m。

##### 3.2.2 储层微观特征

###### (1) 孔隙度、渗透率。

统计肇 32-291 井扶余油层有效厚度内 34 块样品,有效孔隙度 9.2%~15.6%,平均 12.3%;空气渗透率 0.13~4.21mD,平均为 1.16mD。与方案设计结果(孔隙度 12%,渗透率 1.2mD)基本相符。从孔隙度、渗透率频率分布图(见图 1、图 2)看,储层非均质性较强。

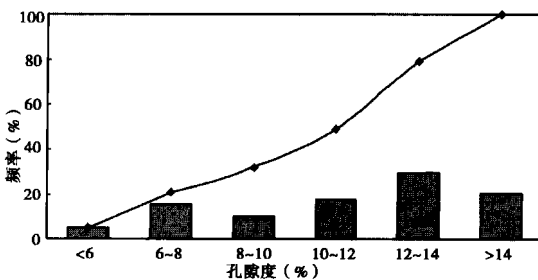


图1 孔隙度分布频率图

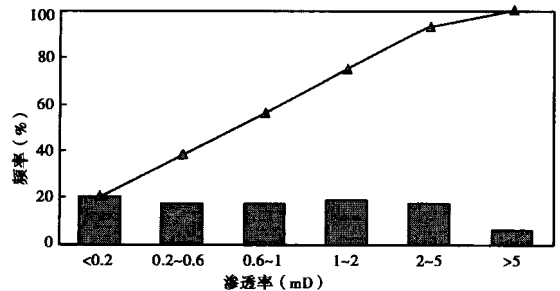


图2 渗透率分布频率图

(2)储层敏感性评价。

目前已完成水敏、酸敏性评价,结果见表1。肇32-291井6块样品分析,扶余油层呈中等水敏、中等偏弱的酸敏,水敏、酸敏程度较榆树林、肇源油田弱。

表1 肇32-291井与肇源、榆树林油田水敏、酸敏特征对比表

| 井/油田     | 水敏性盐度(mg/L)/K(mD)     |           |           |       |      | 酸敏性       |      |
|----------|-----------------------|-----------|-----------|-------|------|-----------|------|
|          | K                     | 临界盐度/K    | 盐度/K      | 盐度0时K | 水敏程度 | 酸敏指数      | 酸敏程度 |
| 肇32-291  | 1.68                  | 5376/0.63 | 2688/0.50 | 0.36  | 中等   | 0.07~0.26 | 中等偏弱 |
| 源216-280 | 1.47                  | 7262/0.20 | 2421/0.05 | 0.04  | 强水敏  | 0.11~0.57 | 中等偏强 |
| 榆树林油田    | 蒸馏水渗透率与老化渗透率的比值均高于0.8 |           |           |       | 强水敏  |           |      |

从黏土矿物分析看,肇32-291井黏土矿物以伊利石、绿泥石为主,各占50%、43%,伊/蒙混层占7%,有时也有少量蒙皂石和高岭石出现。从前人的水敏、酸敏研究成果看,主要是水敏性黏土矿物(如蒙皂石遇淡水膨胀)、富铁的黏土矿物遇酸反应(如富铁绿泥石),引起孔隙堵塞造成损害。由于扶余油层渗透率很低,仍应注意减少地层伤害。

3.3 地应力分布特征研究

3.3.1 地应力方向测试

采用黏滞剩磁与波速各向异性、热应变恢复、横波各向异性等测试和分析方法,综合确定了州201区块的地应力方向(见表2)。

表2 州201试验区扶余油层主地应力方向分析结果表

| 岩心深度(m)   | 岩心编号 | 水平最大主应力方向(°) | 水平最小主应力方向(°) | 测试方法        |
|-----------|------|--------------|--------------|-------------|
| 1853.68   | 12   | 91           | 181          | 黏滞剩磁与波速各向异性 |
| 1854.22   | 14   | 97           | 187          |             |
| 1858.62   | 20   | 97           | 187          |             |
| 1861.42   | 32   | 96           | 186          |             |
| 1875.47   | 41   | 105          | 195          |             |
| 1888.93   | 50   | 88           | 178          |             |
| 1890.57   | 58   | 95           | 185          |             |
| 平均        |      | 95           | 185          |             |
| 1853.68   | 12   | 85           | 175          | 热应变恢复法      |
| 1854.22   | 14   | 94           | 184          |             |
| 1858.62   | 20   | 95           | 185          |             |
| 1861.42   | 32   | 89           | 179          |             |
| 1875.47   | 41   | 103          | 193          |             |
| 1888.93   | 50   | 84           | 174          |             |
| 1890.57   | 58   | 97           | 187          |             |
| 平均        |      | 92           | 182          |             |
| 1760-2007 |      | 86           | 176          | 横波各向异性      |

从表 2 中可以看出,州 201 试验区黏滞剩磁与波速各向异性法确定的平均水平最大主应力方向为 NE95°,热应变恢复法为 NE92°,横波各向异性法为 NE86°。三种方法确定的结果差别不大(NE86°~95°),与方案设计结果(近东西向)相符。

3.3.2 差应变法测量地应力值

肇 32-291 井共进行了 7 块岩心的差应变测试,结果见表 3。

表 3 肇 32-291 井差应变法测试最大主应力值结果表

| 岩心深度(m) | 岩心编号 | 应力梯度(MPa/m) |        |        | 主应力值(MPa) |      |      |
|---------|------|-------------|--------|--------|-----------|------|------|
|         |      | 垂向          | 水平最大   | 水平最小   | 垂向        | 水平最大 | 水平最小 |
| 1853.68 | 12   | 0.0259      | 0.0216 | 0.0156 | 48        | 40   | 29   |
| 1854.22 | 14   | 0.0259      | 0.0221 | 0.0178 | 48        | 41   | 33   |
| 1858.62 | 20   | 0.0258      | 0.0221 | 0.0183 | 48        | 41   | 34   |
| 1861.42 | 32   | 0.0258      | 0.0210 | 0.0183 | 48        | 39   | 34   |
| 1875.47 | 41   | 0.0261      | 0.0224 | 0.0176 | 49        | 42   | 33   |
| 1888.93 | 50   | 0.0259      | 0.0222 | 0.0164 | 49        | 42   | 31   |
| 1890.57 | 58   | 0.0259      | 0.0217 | 0.0175 | 49        | 41   | 33   |
| 平均值     |      | 0.0259      | 0.0219 | 0.0174 | 48.4      | 40.9 | 32.4 |

差应变测试平均垂向主应力梯度 0.0259MPa/m,平均水平最大主应力梯度 0.0219MPa/m,平均水平最小主应力梯度 0.0174MPa/m。垂向主应力 48~49MPa,水平最大主应力 39~42MPa,水平最小主应力 29~34MPa/m。

3.4 油水分布

三肇地区扶余油层纵向为上油下水,存在一个宏观的油水包络面。油气运移波及到的范围内普遍含油,地垒块油层较发育,地堑块油层发育差。

另外,对电测曲线解释成果怀疑为水层的肇 34-28 井 FI7 层进行了压裂捞油试验,判断储层性质。该井采用普通压裂方式压裂砂岩厚度 4.6m,有效 3.4m,于 2005 年 12 月 20 日压裂后捞油,截至 2006 年 3 月(停捞前)日捞油 0.5t 左右(捞油深度 1400m),含水 4.5%(图 3),累积捞液 137t,累积捞油 88t。表明目前的有效厚度和电性解释标准满足不了扶余油层开发需要,需进一步根据取心井资料进行岩电关系对比研究,确定有效储层划分标准。目前正在进行相关研究工作。

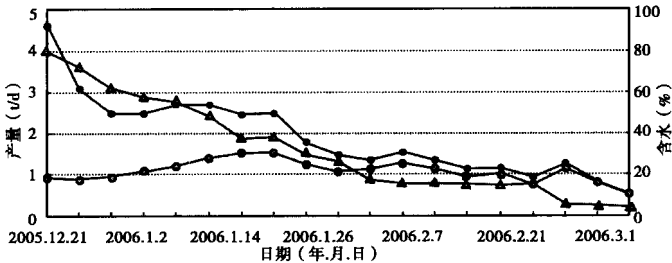


图 3 肇 34-28 井捞油曲线