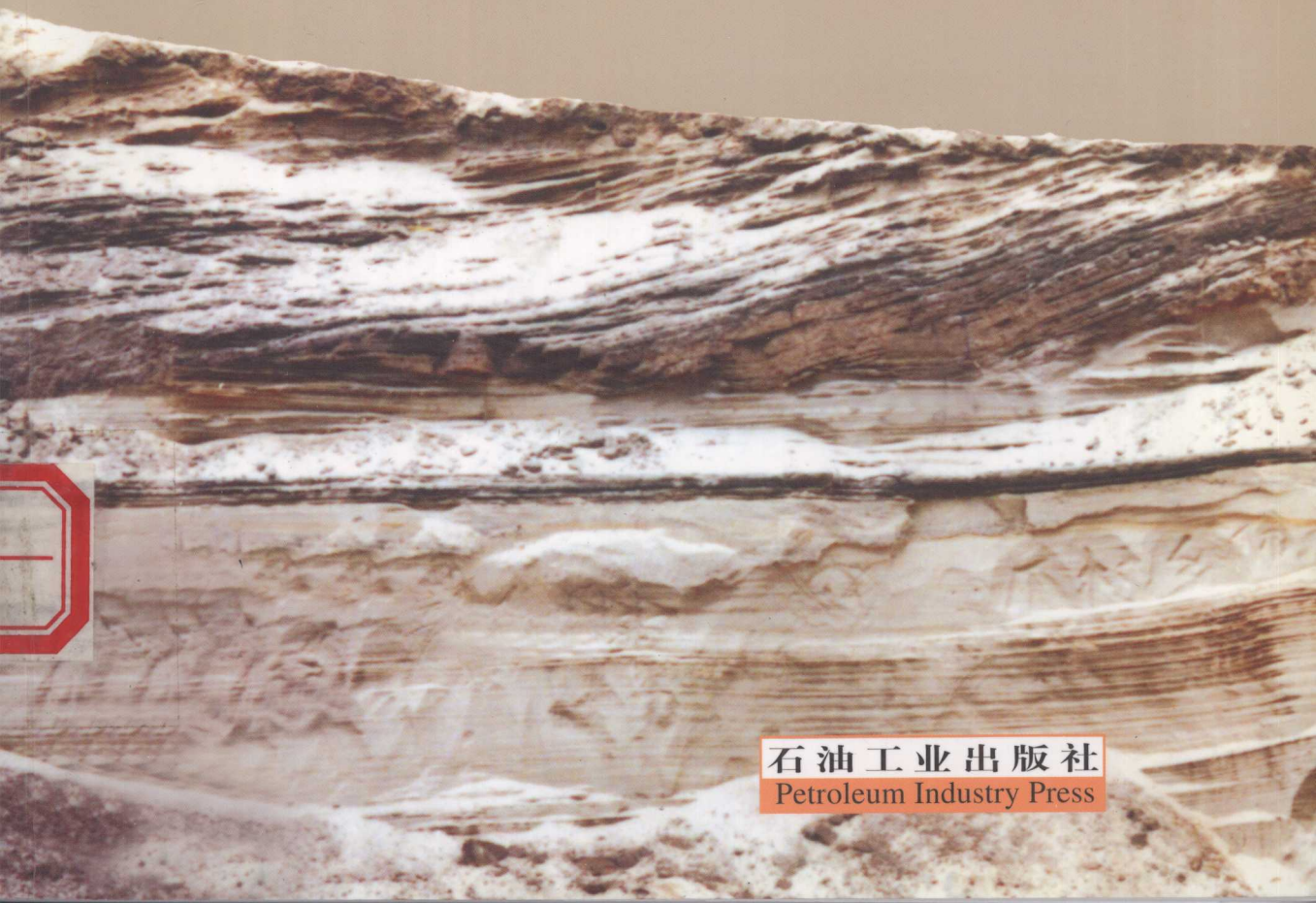


大庆西部

外围油田开发实践

王岩楼 张传绪 郭殿军 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

大庆西部外围油田开发实践

王岩楼 张传绪 郭殿军 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书根据大庆西部外围地区“九五”及“十五”期间油气田的勘探开发实践,收集、整理了石油地质、油藏工程、采油工程、地面工程、信息工程等方面的专题和资料,编辑成该书,旨在能够对同类油气资源的勘探开发起到借鉴作用。

图书在版编目(CIP)数据

大庆西部外围油田开发实践/王岩楼等主编.
北京:石油工业出版社,2005.1

ISBN 7-5021-4900-7

I. 大…

II. 王…

III. 油田开发-大庆市-文集

IV. TE34-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 127623 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

总 机: (010) 64262233 发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 河北省欣航测绘院印刷厂印刷

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 19.5

字数: 495 千字 印数: 1—700 册

书号: ISBN 7-5021-4900-7/TE·3442

定价: 50.00 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

《大庆西部外围油田开发实践》编委会

主 编 王岩楼 张传绪 郭殿军

副主编 艾尚军 于俊波 王权杰 李淑英 柴立新

成 录 秦中国

编 辑 于宝柱 王洪涛 丛德军 刘秀才 刘振明

许辛淑 李中冉 李福章 宋才娃 张中一

张玉林 张志民 杨春宇 周国彬 胡建波

赵玉武 高永莲 董长山 董凤岩 董其龙

董经武 韩 军 韩福忠 潘恒民 薛云飞

(编辑排名以姓氏笔画为序)

前 言

大庆西部外围地区,地面横跨两市(大庆市、齐齐哈尔市),三县(泰康县、泰来县、肇源县),东西宽 100km,南北长 180km,勘探开发面积 $1.5409 \times 10^4 \text{km}^2$,区内嫩江自北向南穿过,地面条件较为复杂。区域构造上位于松辽盆地北部大庆长垣以西,勘探开发范围包括齐家—古龙凹陷、龙虎泡—大安阶地、泰康隆起带和西部超覆带(中段)4个二级构造单元。主要勘探开发目的层为萨尔图、葡萄花、黑帝庙、高台子、扶余和杨大城子油层。

该区地下油气资源比较丰富,至 2003 年底已初步探明油气藏 18 个。油气藏类型复杂多样,储层性质和原油物性差别较大。为了实现油气资源经济有效动用,在滚动勘探开发过程中,加强了勘探开发一体化和地下地面一体化研究。按照“先肥后瘦,先易后难”的原则,先后开发了龙虎泡、敖古拉、杏西、高西、齐家、金腾、新店、龙虎泡高台子层、新站、新肇、葡西和他拉哈等油田。

目前,还有一部分储量未动用,但这部分储量储层薄、物性差和油水分布复杂;另外,地面条件差致使经济效益差,开发风险大。要想经济有效动用这部分储量,必须应用先进的勘探开发技术以及灵活多样的地面建设工艺,降低产能建设投资和开发管理成本。

根据该区“九五”及“十五”期间油气田的勘探开发实践,收集、整理了石油地质、油藏工程、采油工程、地面工程、信息工程等方面的专题和资料,编辑成该书,旨在能够对同类油气资源的勘探开发起到借鉴作用。

本书由王岩楼、张传绪、郭殿军主编,多位作者参加编写。编写作者分工如下:第一章第一节作者:潘坚、秦东、赵建军,第二节作者:张雪艳、云海富,第三节作者:郭殿军、陶亚兰、张树义、赵海金、徐国庆、侯雪云、付卫丽、叶宝娟,第四节作者:张引、周红梅、初国宏、于宝柱、王广霞、江玉龙。第二章第一节作者:薛凤玲、孙加华、蔡敏,第二节作者:丁建平、王晓靖,第三节作者:郝永刚、鹿艳民、陈秋君、刘元吉、吴修建,第四节作者:李中冉、杜善斌。第三章第一节作者:赵玉武、隋小滨、王亚茹、姜德英、刘炳康、徐安军、韩军、董亚娟、侯玉华,第二节作者:范长海、左松林、马东、肖宏伟、张力佳、鹿丽卿、胡建波、袁尚金、张庆丰、王忠敏、孙连柱、蓝瑞忠、刘建成、秦凯峰、萧印峰、刘玉志、曲智佳,第三节作者:张威、王新强、吴春艳、周振华、何桂荣、陈波、郭恒、侯佩宁、李继东、孙荔、郝世艳、王勇,第四节作者:么忠文、王志刚、许秀才,第五节作者:董凤岩、黄绍军、赵洪明、张中一、李生、郎秀霞。第四章第一节作者:栗伟、孙晓辉,第二节作者:李金伟、黄清强、李永权,第三节作者:刘英、刘洪花,第四节作者:王春芳、

陈新萍、苍辛。第五章第一节作者：刘丽华、杨立伟，第二节作者：高嵩、吴玺廷，第三节作者：姚华梅、王桂萍，第四节作者：高艳秋、孙绍武，第五节作者：邹江滨、吴载权，第六节作者：刘元吉、许秀才，第七节作者：王广霞、初国宏，第八节作者：王洪涛、江玉龙，第九节作者：于世平、王志刚，第十节作者：罗影坤、张持坤。第六章第一节作者：潘恒民、秦凯峰，第二节作者：朱丽秋、李光，第三节作者：柴立新、李清民，第四节作者：曲瑛新、李光，第五节作者：赵艳波、李静，第六节作者：韩增军、孙成岩，第七节作者：陈永明、丁伟勋，第八节作者：李树群、王宪波，第九节作者：牛彦山、刘洪仁，第十节作者：王志忠、何文新。第七章第一节作者：徐桂霞、张兴华，第二节作者：孙先杰、王立艳，第三节作者：孙庆宏、夏建军，第四节作者：刘遵权、张艳明，第五节作者：段春华、刘岩，第六节作者：薛云飞、侯佩云，第七节作者：张中一。第八章第一节作者：尹喜永、陆秀军，第二节作者：丛德军、李东，第三节作者：邓素玉、刘崇峰。第九章第一节作者：董经武、刘晓霞，第二节作者：邹澜涛、彭丽，第三节作者：张福坤、董其龙，第四节作者：陈勇、韩玲，第五节作者：秦凯峰、肖印峰，第六节作者：赵丽娟、刘洪仁，第七节作者：高永莲、苗国晶，第八节作者：于永波、田伟，第九节作者：王殿庆、陈玉君。第十章第一节作者：胡建波、孙连柱，第二节作者：刘松林、王守影。第十一章第一节作者：刘秀才、黄万亿，第二节作者：刘秀才、王维刚，第三节作者：刘秀才、栾金凤，第四节作者：刘秀才、唐伟。第十二章第一节作者：许辛淑、栾金凤，第二节作者：谷亚景、方西盛，第三节作者：刘玉文、薛宝忠，第四节作者：孙殿国、马文雅，第五节作者：马红艳、陶立全，第六节作者：赵玉军、袁丽萍。第十三章第一节作者：孙荔、郝世艳、王勇，第二节作者：王桂清、邢世玉，第三节作者：董长山、王艳萍，第四节作者：韩福忠、张国庆，第五节作者：史冬梅、林霞，第六节作者：苏云峰、龙飞，第七节作者：史冬梅，第八节作者：史冬梅，第九节作者：周伟忠。

由于编者水平有限，书中难免会有某些缺点和失误，恳请读者提出批评指正。

编 者

2004.12

目 录

第一章 石油地质	(1)
第一节 大庆西部外围油田滚动开发实践	(1)
第二节 异常高压油气藏形成机理	(8)
第三节 复杂油气田外扩及加密调整	(13)
第四节 剩余油分布规律	(16)
第二章 测井测试及地球物理	(18)
第一节 复杂地区测井系列优化技术	(18)
第二节 微电阻率扫描成像技术	(23)
第三节 利用生产测井技术分析套损机理	(27)
第四节 测井约束条件下的储层地震反演技术	(30)
第三章 油藏工程	(35)
第一节 西部外围萨尔图中渗透油藏开发特征及调整实践	(35)
第二节 西部外围葡萄花低、特低渗透油藏开发特征及调整实践	(51)
第三节 西部外围高台子致密油藏开发特征及调整实践	(58)
第四节 西部外围复杂油藏地质与开发特征	(66)
第五节 西部外围已开发油藏综合调整对策及部署	(72)
第四章 油田化学	(77)
第一节 原油乳化水氯离子含量测定方法	(77)
第二节 水包油状态下原油含水的测定方法	(80)
第三节 化验分析中废液无毒处理方法	(84)
第四节 优化细菌测试降低分析化验成本方法	(86)
第五章 低渗透油田采油工艺技术	(90)
第一节 采油工程先导性试验及方案优选	(90)
第二节 大庆西部外围稠油开采技术及展望	(93)
第三节 长跨距合采井分层测压工艺技术	(98)
第四节 机械堵水管柱验封技术	(99)
第五节 龙虎泡高台子油层套损原因分析及对策	(102)
第六节 套损数学建模初探	(106)
第七节 注水压力和渗透率对注水井套变的影响	(109)
第八节 龙虎泡油田提液稳产实践与认识	(113)
第九节 “三低”油田采油工程降投资、降成本的途径	(116)
第十节 经济有效开采低产低渗透油田的途径	(119)
第六章 机械采油技术	(123)
第一节 外围低渗透油田合理流压和沉没压力的确定	(123)
第二节 提捞采油井合理生产制度的确定	(128)

第三节	捞油设备配套装置·····	(130)
第四节	抽油机井合理间抽制度的确定·····	(133)
第五节	利用示功图对下冲程管杆偏磨的诊断·····	(138)
第六节	柱塞悬重泵加重杆长度的确定与应用·····	(140)
第七节	低产低渗透油田清防蜡探讨·····	(144)
第八节	水力模拟试验井的设计思路及应用·····	(148)
第九节	多功能污油污水回收处理装置·····	(151)
第十节	油液分析技术在油田天然气发电机组润滑油监测中的应用·····	(154)
第七章	低渗透油田注水工艺技术·····	(160)
第一节	低渗透油田降低注水压力的途径·····	(160)
第二节	堵缝调剖施工挤注压力的确定方法·····	(163)
第三节	低渗透油田污水水质处理技术·····	(168)
第四节	注水井可洗井技术·····	(171)
第五节	油管复合材料防腐涂层技术·····	(175)
第六节	岩石断裂韧性测量技术·····	(178)
第七节	提高特低渗透低渗层可动油动用程度机理·····	(183)
第八章	油层保护技术·····	(186)
第一节	油层保护技术在大庆外围油田中的应用·····	(186)
第二节	龙南敏感性油藏油层保护技术·····	(190)
第三节	低渗透油田完井工艺技术优化方法·····	(194)
第九章	增产措施·····	(198)
第一节	压裂工艺设计优化·····	(198)
第二节	低渗透油田压裂增效技术·····	(202)
第三节	低渗透油田压裂几个关键问题及对策·····	(206)
第四节	龙虎泡油田高含水期压裂技术·····	(210)
第五节	对新站油田压裂改造的认识·····	(213)
第六节	低渗透油田微生物吞吐采油技术·····	(218)
第七节	低压井验窜工艺技术·····	(220)
第八节	完井工艺与压裂时机对产能的影响·····	(223)
第九节	压后堵水工艺技术·····	(226)
第十章	计量技术·····	(229)
第一节	翻斗量油计数器的研制及应用·····	(229)
第二节	油井计量技术基本情况及发展趋势·····	(231)
第十一章	大庆西部外围油田地面工艺技术、矛盾及改造对策·····	(235)
第一节	地面工艺现状·····	(235)
第二节	地面工程优化、简化取得的主要成果·····	(236)
第三节	油田地面工艺存在的主要矛盾及发展趋势·····	(237)
第四节	油田地面工程调整改造思路·····	(240)
第十二章	地面工程系统降投资、降成本技术对策·····	(242)
第一节	外围油田经济有效开发的模式·····	(242)

第二节	地面工艺降投资、降成本的途径·····	(246)
第三节	影响西部外围油田开发效益的主要矛盾·····	(248)
第四节	实施三段控制, 提高水质达标率·····	(253)
第五节	降低道路建设投资途径·····	(257)
第六节	现浇混凝土楼板裂缝的产生与控制·····	(263)
第十三章	信息技术 ·····	(267)
第一节	油田开发中几类计算的自动化设计与实现·····	(267)
第二节	多层分布式应用程序的实现·····	(271)
第三节	多用户环境下多表关联查询工具的设计与实现·····	(276)
第四节	利用 ASP 与组件技术实现示功图的图形化发布 ·····	(281)
第五节	利用 ASP 技术实现油田生产数据智能查询 ·····	(285)
第六节	利用 ORACLE 过程进行数据管理与应用 ·····	(288)
第七节	开发数据库质量检查·····	(291)
第八节	数据容灾的设计与实现·····	(297)
第九节	企业网安全防护体系·····	(299)

第一章 石油地质

大庆西部外围地区，区域构造为“一凹”、“两坡”三大构造单元（齐家—古龙凹陷、龙虎泡—红岗阶地及西部斜坡带）。虽然油气资源丰富，但由于远离松辽盆地主要物源（主要物源来自克山—林甸一带），加之缺乏良好的圈闭条件，形成的油气藏具有小、散、差、杂、低、深的特点，一次性勘探开发很难搞清复杂的油藏地质特征，必须遵循边评价、边钻井、边开发的滚动开发原则，才能搞清地下情况，降低开发风险，提高开发效益。随着油田开发的不断深入，地质理论和勘探开发技术不断创新，西部外围各油田通过油藏成藏机理研究、储层地质特征认识及剩余油分布规律研究，详细解剖各类砂体的分布形态及地下流体分布规律，形成加密外扩调整和接替稳产的开发模式。

第一节 大庆西部外围油田滚动开发实践

西部外围油田的滚动开发大体经历了三个阶段，即滚动开发初级阶段、滚动开发发展阶段、滚动开发成熟阶段，逐步探索出钻前早期评价研究、钻井过程跟踪预测、钻后深化油藏地质认识的滚动开发程序，发展完善了以油藏早期评价、地震综合预测及油藏描述为核心的滚动开发配套技术，取得钻井 2195 口，钻井成功率 99.4% 的钻井好效果。

1 滚动开发的初级阶段（1983～1993 年）

这个时期地震勘探技术在预测构造方面已经成熟，受分辨率及地震研究方法限制，在预测储层及油气方面尚处在尝试阶段，主要勘探目标是寻找构造圈闭。为了搞好西部外围复杂断块油气藏的开发，采取了滚动开发的模式，对滚动开发的原则、滚动开发的程序、滚动开发的研究内容和方法进行了不懈的探索。先后开发了龙虎泡、杏西、齐家、金腾、敖古拉五个油田；开发了龙南、白音诺勒、阿拉新、二站、塔 301 井区等 5 个气田，取得钻井 508 口，钻井成功率 98% 的钻井开发效果。其中最具代表性的是敖古拉油田的滚动开发。

敖古拉油田位于松辽盆地西部斜坡区，是一个与敖古拉大断裂相伴生的，被断层复杂化的三级鼻状构造，断层两侧发育了一些零散的含油气构造。纵向上从萨零至高台子油层都获得了工业油流，砂体发育不稳定，不同区块的油气富集程度相差悬殊，油气水的空间分布十分复杂。几年来，我们应用开发地震、综合地质、油藏工程及综合测试等多学科知识，从砂体发育状况及油气水分布规律入手，摸索总结了一套适合这类油田特点的滚动开发程序和评价、描述方法，取得了较好的开发效果。

1.1 以区域研究成果为基础，认清不同区块的主要矛盾，搞好滚动开发的总体规划

敖古拉油田平面上分为塔 20—塔 19 井区、塔 5 井区、塔 3 井区和塔 2 井区四个区块，各区块间差异较大。断裂带东侧塔 2 井区萨零组砂岩具有工业开采价值，属岩性油藏，油水分布简单，但砂岩边界尚需确定；断裂带西侧的各区块自北而南地质条件越来越复杂，探明程度越来越低，塔 20—塔 19 井区地质情况相对比较简单，且油层层数多，厚度大，纵向上油气水分布比较清楚，无气夹层；塔 5 井区比较复杂，上部有多层气顶，向下有高气油比油

层；塔 3 井区最为复杂，油气水层交互分布，甚至在一个砂层油气水共存。由此认为，该油田分区块逐步实施滚动开发较为合适，制定了“先肥后瘦，先易后难”的滚动开发原则，确定了敖古拉油田滚动开发的总体规划设想。首先，开发塔 20-19 井区，解剖研究断裂西侧的油藏地质特征，为断裂两侧各区块的全面开发做好技术准备；其次开发塔 2 井区，应用地震技术进行砂体预测，落实砂岩边界；再开发塔 5 井区，解决气层及油层的开发问题，最后在开发好塔 5 井区的基础上，开发塔 3 井区。

1.2 运用多种技术手段，搞好油气藏的描述及综合评价

1.2.1 应用沉积相研究方法，初步搞清了敖古拉地区萨零组砂体的沉积背景及其成因

通过开展区域沉积相研究，认为敖古拉油田塔 2 井区萨零组属于水下分流河道沉积，物源来自于北部沉积体系，砂体呈南北向展布，否定了长期以来认为该区萨零组沉积为浊流沉积的观点；塔 2 井区萨零组可以分为两个小层（S0₁、S0₂），小层内部发育的砂层为多期河道沉积。

1.2.2 应用地震技术，预测了敖古拉地区萨零组砂岩分布及含油气情况

敖古拉地区萨零组发育的主要是岩性油气藏，砂岩镶嵌在大段的泥质岩之中，在地震剖面上反射特征明显，使综合应用多种地震预测技术开展储层及油气的预测成为可能。

应用地震合成记录，VSP 资料准确标定 S0 组砂岩的反射层位，确定反射特征：S0 组反射界面相当于萨零组砂体顶面，T₁ 反射界面相当于萨一组顶面。当萨零组是一套砂泥岩互层时，S0 组反射轴与 T₁ 反射合并成一个单一的、很强的反射轴；当萨零组为一套泥页岩时，T₁ 反射之上的 S0 组反射消失（T₁ 反射轴较前一种情况弱）。当萨零组是一套单一的砂岩时，其反射特征为 T₁ 反射轴之上出现一个强反射，T₁ 反射轴减弱；并依据此反射特征，预测了砂岩的分布范围，从预测结果看，塔 2、塔 5、塔 11 井区为三个 S0 组砂岩发育区。

应用地震特殊处理资料，预测 S0 砂岩的含油气情况。综合应用三瞬剖面、亮点技术、层速度剖面及 AVO 技术对 S0 砂岩的含油气情况进行了预测。认为塔 2 井区萨零组为油层，塔 5 井区萨零组为气层。预测结果被后钻井证实是正确的，塔 2 井区的塔 30-25 井压后日产油 54t，塔 5 井区的塔 45-14 井日产气 45458m³。

1.3 搞好开发与区块评价的结合，积极稳妥地开辟新区块

在敖古拉油田滚动开发过程中，采取了“吃一、拿二、眼看三”的滚动开发步骤，即开发一块、再搞清一块，在钻开发井的同时，还对下一个开发区块部署生产探井，评价一块。

1988 年在钻井工作由塔 20 井区转向塔 2 井区之前，为部署好塔 2 井区的生产探井，首先应用地震技术预测塔 2 井区萨零组的砂岩分布，在搞清了该区砂岩发育特征，从中优选油层发育最有利的部位部署了塔 30-25、塔 26-23 井，钻探工作取得了成功，为研究该井区油藏地质特征奠定了基础。

1989 年在对塔 2 井区进行钻井开发的过程中，对地震预测萨零组气层发育的塔 5 井区进行钻探。在钻井设计部署上，我们既考虑地震预测的萨零气层发育区，同时兼探萨一组至高台子油层。实钻落实，部署的 3 口生产井探井在萨零均钻遇气层，同时在萨一组—高台子油层也钻遇了较厚的油层，塔 47-15 井 PI₂₂、G07、G08 三个层合试，射开含油砂岩厚度 5.6m，有效厚度 4.8m，日产油 30.4m³。这样既搞清了萨零组气藏的基本情况，又为 1990 年钻井开发塔 5 井区萨一组至高台子油层奠定了扎实的基础。

总之，敖古拉油田按照原来提交基本探明储量的含油面积，全油田共布开发井 280 口。滚动开发的结果，全油田实钻新井 110 口，地质报废井 2 口，钻井成功率 98.2%。

2 滚动开发的发展阶段 (1994~1999 年)

随着大庆油田勘探工作的不断深入, 区域沉积相及区块沉积微相的研究成果不断涌现, 成藏理论也在不断地发展和创新, 提出龙虎泡北部高台子层浅湖相沉积岩性成藏理论及中央凹陷区葡萄花层三角洲前缘相沉积岩性成藏理论, 将勘探的重心转移到寻找岩性圈闭油藏。

这个阶段是大庆采油九厂增储上产时期, 相继投入开发了高西、新店、新站、龙虎泡高台子层、布木格、龙南等油田。为了开发好这类复杂的构造岩性油藏, 除了坚持滚动开发初级阶段的开发原则和好的做法, 重点加强储备解决复杂油田的地震预测技术, 采取“走出去、请进来”的做法, 先后配套了完善的高分辨率地震处理技术 (Grisys 处理系统), 精细构造解释技术 (Landmark 地震解释系统、Geoquest 地震解释系统、Gristation 地震解释系统), 复杂油田储层及油气预测配套技术 (黄氏烃类检测、波形畸变、神经网络、多井约束反演、多参数判别等预测技术)。取得钻井 1197 口, 钻井成功率 99.45% 的钻井开发好效果。

2.1 应用高分辨率处理、解释技术, 解决复杂油田的构造问题

为了解决西部外围油田复杂的构造情况, 自 1995 年以来, 我们先后引进了 Grisys 地震处理系统, Gristation 地震解释系统、Geoquest 地震解释系统、Landmark 地震解释系统, 进行高分辨处理、解释攻关与研究, 取得了很好的效果。

针对龙北地区龙 26 井区地质条件复杂, 断层位置不落实的实际情况, 我们对 166.6km 的地震测线进行了高分辨目标处理和解释, 主要落实萨尔图、高台子油层的构造形态和断层展布, 准确确定断层位置, 为开发井井位调整提供依据。

在处理过程中, 为了达到压制干扰波、拓宽有效信号的频带、提高地震资料的分辨率的目的, 我们对去噪, 速度分析, 剩余静校正、反褶积, 偏移归位等关键处理工序进行了大量的处理实验; 采用适合本区特点的两步法统计子波反褶积 (期望输出为零相位的俞氏子波), 并进行了高密度、高精度的迭代速度分析, 使 $T_1 - T_2$ 标准层间的视主频达到 55~65Hz; 采用自适应高频噪音衰减、二维多道相干滤波、多相式拟合等提高信噪比模块, 得到的地震波反射资料信息丰富、波阻特征明显、断点清晰、闭合差小 (小于 5ms), 分辨率和信噪比得到显著提高。

在解释过程中, 我们精细制作了合成记录, 准确标定层位, 并对 S、G 目的层进行了精细追踪解释; 依据波组错断, 同相轴分叉、合并、扭曲以及振幅的强弱变化准确确定断点, 并进行平面、空间的断层组合; 精确求取时深转换速度, 绘制高质量各层构造图, 通过高分辨率处理及解释落实了构造: 经 4 口探井和 15 口开发井资料验证结果, 萨二组顶面平均绝对误差 8.4m, 相对误差 0.6%; 高三组顶面平均绝对误差 9.47m, 相对误差 0.59%; 查清了断层: 原构造图显示本区断层较少, 主要发育有两条规模较大的断层, 而新完成的构造图上断层发育, 断裂系统复杂, 萨二组顶面组合断层 14 条, 孤立断点 10 个。

利用重新处理解释成果, 调整井位 15 口, 取消设计井位 3 口, 增补设计井位 5 口, 钻井 163 口, 钻井成功率 100%, 有效地指导了钻井开发工作。

2.2 综合应用多种地震预测技术, 指导复杂油田的钻井开发

2.2.1 黄氏烃类检测技术的应用

1992 年, 为了储备一套能够解决复杂油田的储层及油气预测技术, 经多方调研, 决定引进大庆物探公司黄克友高级工程师发明的黄氏烃类检测技术。其原理是: 选取精细的滤波因子, 对地震资料进行精细滤波 (纵向以采样点为单位, 横向以 CDP 道集为单位), 绘制同

一测线不同频率的滤波剖面，用以检测由于上、下地层的物性、岩性及流体性质不同所产生的地震波频率的变化，进而进行储层及流体性质的预测。

首先，我们处理了已开发油田的地震资料，对该项技术的预测效果进行试验研究。分别选取了金腾油田气层、龙虎泡 PI 组河道砂、金 6 井与火山运动有关形成的披覆构造等具有典型地质特征的剖面进行试验研究，取得了如下认识：

该技术可独立分辨出单层厚度大于 3m，层间隔大于 5m 的储层，对于单层厚度小于 3m，层间隔小于 5m 的薄互层，剖面上是一个合成的反映；经对新店 154.5 线杜 38-13 井验证，该技术能够明显检测出油气层和水层，但不能准确区分油层和气层；在龙虎泡试验剖面上，能够精细描述河道砂体的宽度和展布方向；在金 6 井与火山运动有关披覆构造剖面上，能够明显地将下伏火山角砾岩与上覆巨厚的砂岩区分开；黄氏烃检技术分辨率高，油气检测灵敏，砂岩及油气预测符合率达 80% 以上。通过试验，我们了解了该技术的预测能力，掌握了该技术的解释方法，将这套成熟的预测技术应用到龙虎泡外扩、高西、布木格油田开发的实践中，取得良好的应用效果。

烃类检测技术在龙虎泡油田外扩中的应用：

龙 13-15 井区位于龙虎泡构造北端，由两条断层切割将其与油田的主体构造分开，形成了次一级的鼻状构造。龙 13-15 井是 1985 年完钻的一口生产探井，电测解释钻遇有效厚度 6.0m，1986 年 5 月采用 43-500 型射孔弹射孔，多次气举替喷只见少量油，由于产能低未投产。

1993 年应用黄氏烃类检测技术，预测该构造应为含油鼻状构造，于是决定对龙 13-15 井进行重新射孔试采。1993 年 4 月，采用 YD-89 型射孔弹对龙 13-15 井萨尔图油层进行重新射补孔，抽汲试采，日产油 7.2t，含水 5%。在此基础上，对该区七个层段（S₀、S_I、S_{II上}、S_{II下}、S_{III}、PI_上、PI_下）进行了分层砂岩及油气预测，预测各层段的叠合含油范围与该区的 -1350m 等深线基本一致。

同时，利用黄氏烃类检测技术对龙虎泡北部（21~39 排）西侧的 S_I、S_{II上}、S_{II下}、S_{III}、PI 五个层段进行储层及含油预测。

2.2.2 应用波形畸变技术、烃类检测技术及 Jason 反演技术指导高西油田钻井

高西油田为构造岩性油藏，东块近 10km² 范围内，部署规划开发井 104 口。钻前（1994 年），应用黄氏烃类检测技术预测油水分布，发现与原方案认识差异较大。原方案认为古 508 井区为纯油区，而烃检预测古 28-21 井处为含油边界，高部位为油，低部位的 10 口井处于含油边界之外；原方案认为断裂带东侧处于鼻状构造高部位的 502-509 区块为含油有利区，而烃检预测此区含油性较差。经古 28-21、22-28 两口首钻井实钻证实，烃检预测是正确的，由此重新落实了油水分布，在有利的含油区块内部署了 65 口开发井位。在钻井过程中，又应用“波形畸变技术”进行砂体的跟踪预测，及时调整井位，共钻井 50 口，地质报废井 2 口，钻井成功率 96%。1999 年，应用 Jason 反演技术预测高西油田南部储层及油气分布规律，开展外扩钻井可行性研究，外扩钻井 6 口，在复杂油藏钻井开发中取得了较好的经济效益。

2.2.3 应用双重神经网络和烃类检测技术指导布木格油田钻井

在布木格油田的钻井过程中，我们应用双重神经网络预测技术开展储层预测，应用烃类检测技术开展油气预测，通过综合地质分析，搞清了布木格油田布 52-19 区块岩性油藏成藏机理，取消高部位产水的布 44-22 井区的近 20 口设计井位，保留低部位产油的布 52-

19 井区的设计井位,既提高了钻井成功率,又找到了宝贵的储量。

2.2.4 应用多井约束反演、神经网络技术从平面上和纵向上预测新站油田的储层发育状况

新站油田黑帝庙层的砂体类型主要为三角洲前缘砂坝,具有横向变化大的特点,据此在纵向上采用多井约束反演技术,平面上采用人工神经网络技术进行了岩性预测。

利用多井约束反演技术进行横向预测时,首先通过地震合成记录确定了黑二油层组顶底及 1~6 号小层在地震剖面上的相应位置,然后结合区内地质特点及地震剖面反射特征确定了处理流程,采用测井声速与地震道反演速度相结合的办法找出反演速度与色标的对应关系,确定了解释规则。经预测:该区西部砂岩较发育,东部砂岩不发育。例如大 86-100 井黑二油层组 5 号层砂岩厚度 7.4m,以此标定了 48.0 线反演剖面,预测大 86-102 井砂岩发育状况变差,仅为 3m,实际钻井结果砂岩厚度为 4.0m。

在应用神经网络技术进行岩性预测时,从层位标定、参数拾取入手,有选择地提取地震参数,确定了适合本区特点的地震预测流程;采用人工合成地震记录与地震剖面的对比来进行层位标定;选择井旁 5 个 CDP 为样本,选取振幅、频率、自相关等特征参数,对该区 256km 的地震测线进行了处理解释,预测了砂岩发育区。从预测结果看,该区砂岩发育区(6m 以上)主要集中在大 402 井周围,砂岩不发育区(3m 以下)主要分布在大 402 井东部和北部。为此,我们暂缓实施了落在砂岩不发育区的 8 口井,取得了钻井 220 口,地震预测符合率达 83.3% 的好效果。

3 滚动开发的成熟阶段(2000 年以后)

这个阶段正是大庆油田有限责任公司第九采油厂(简称采油九厂)努力上产,实现年产油上百万吨目标的关键性阶段,投入开发的油田多为储层薄、物性差、圈闭条件差、油水分布异常复杂的油田。为了开发好这类油田,一是增加地震技术含量,充分发挥三维地震资料地质信息丰富的优势,应用三维可视化技术,宏观预测储层及油水分布特征;二是引进小断层识别,含钙薄互层储层预测等先进技术,精细预测储层发育状况和油水分布规律;三是地震地质相结合,在实践中探索出一套适合西部外围油田滚动开发的研究程序,即:钻前开展早期评价研究,钻井过程中实施滚动预测,钻井后期加强地质基础研究,深化油藏认识。新肇油田的滚动开发就是一个典型代表。

3.1 早期油藏评价研究

为了合理指导钻井工作,钻井前运用 Landmark 地震解释系统和 Strata、Emerge 等地震储层预测技术进行三维地震精细构造解释及储层预测,利用区内探评井和控制井资料,综合地震预测结果开展了油藏早期评价研究。

3.1.1 构造预测研究

制作了区内 10 口探评井的合成记录,标定了 T_{06} 、 T_1 、 T_{1-1} 、 T_2 四个地震层位,并确定其地质含义;同时,综合分析地震剖面上同相轴波组特征,对全区地震资料进行了追踪对比。

充分发挥三维地震数据体数据点密集、偏移归位准确的优势,利用 Landmark 解释系统中的地震剖面放大、时间切片、椅式切片、相干数据体及三维可视化等解释功能联合进行构造解释。在地震剖面上综合分析断层的断距大小及发育时间先后,进行断层组合,使断层的平面和纵向组合更具合理性。

为了提高钻井成功率,确保开发井不断失油层,除了进行常规构造解释外,我们把构造研究的重点放在对小断层的识别上,应用多种方法识别小断层,精细地描述该区的断裂系统。一是利用棱边检测技术突出地震层位解释数据中的突变点,大大增强了小断层的识别能力,能够识别断距 5~10m 的小断层;二是综合分析高分辨率 Strata 波阻抗反演剖面所反映的储层横向和纵向变化特征,准确识别小断层,进一步提高小断层的解释精度。

经构造预测研究,落实了该区的构造特征。古 634 区块位于新肇地区东部断裂带,整体为一个被断层复杂化的由北东向西南倾覆的鼻状构造,构造幅度差 270m。区内被 3 条近南北向延伸的大断层分割成 3 个断块,即古 634 断鼻、古 611 地垒及古 63 断鼻。断层走向近南北向,共有大小断层 50 条,延伸长度 0.3~10km,断距一般为 30m 左右,最大达 70m。其中断距小于 10m 的小断层有 27 条。

3.1.2 储层预测研究

为了提高储层预测符合率,针对葡萄花油层砂体规模小、横向变化大的地质特点,我们努力探索适合薄互层储层预测的技术组合,分步预测储层。

利用地震属性提取技术、相干数据体分析技术、三维可视化技术进行地震属性分析与研究,在空间上宏观定性描述葡萄花油层储层分布特征。

利用 Strata 宽带多井约束反演技术研究葡萄花油层高速层在地震剖面上的显示特征,并将获得的低频地震反演约束数据体应用到后续的储层预测之中。

针对葡萄花油层特点,将地震资料进行重采样,采样率由原来的 1ms 提高到 0.25ms,缓解了地震资料与测井资料垂向分辨率差异大的矛盾,为提高储层预测精度奠定了基础。应用适合薄互层储层预测的 Emerge 地震多属性统计反演技术,进行地震资料特殊处理,得到自然伽马、电阻率等储层反演剖面,有效地预测了储层分布。

储层预测结果表明:钻井区储层发育不稳定,砂体主要发育在断层附近、古 636 井区及古 634 井附近。钻井区以外储层主要分布在古 603 井区、古 63 井区和古 611 井区附近。

通过早期评价,搞清了该区的油水分布特征。平面上鼻状构造轴部的古 603—古 634 井区为纯油区;东侧的古 611 地垒和翼部的古 63 断鼻油水受构造控制,高部位为油层,低部位为同层或水层。优选出古 601—古 603 区块、古 63 断鼻及古 611 地垒 3 个有利布井区块。

3.2 钻井过程中坚持跟踪预测,合理指导钻机运行

新肇地区地面条件复杂,让通铁路、南引干渠横贯全区,还有村庄、鱼池、树林等;地下断层发育,储层横向发育不稳定,给钻井运行带来很大难度。我们坚持“地下为主,兼顾地面,有利钻井,灵活调整”的原则,合理指导钻井工作。

3.2.1 跟踪预测构造

钻井前,将设计井位全部落在地震剖面上,精心解释井旁断层,初步确定井位调整方案。在钻井过程中,综合考虑地面调整意见,结合已完钻井资料,研究未钻井位与断层的空间位置关系,最终落实井位。共调整井位 29 口,其中地面原因调整 25 口,地下原因调整 4 口。

对无地震资料钻井区,深入研究其附近的地震资料,根据断层纵向延伸和平面展布规律预测断层,先钻比较可靠的井位,再利用新完钻井资料,绘制断层剖面图,进行井位调整。

充分发挥三维地震资料优势,沿丛式井造斜方位角选取地震剖面,精细研究断层与井眼轨迹的空间位置关系,优化钻井施工设计,确保钻井成功率及井身质量。

3.2.2 跟踪预测储层

由于该区储层发育不稳定, 钻前储层预测结果不能一成不变地指导整个钻井过程, 必须不断充实新的钻井信息, 完善预测方法, 进行动态跟踪预测, 不断提高预测精度。在钻井初期, 由于探评井储层钻遇率较高, 有效厚度较大, 我们只做了宏观的储层预测, 围着探井钻开发井, 效果不十分理想, 20 口开发井完钻后, 有效厚度小于 2.0m 的井有 5 口。

我们认真分析了这 20 口开发井资料, 深入研究储层发育特征, 运用 EMERGE 地震储层预测方法, 开展了精细的地震地质综合研究, 逐井预测砂岩厚度, 基本搞清了储层分布规律。运用这一研究成果, 按照“先内后外, 先好后差, 集中连片”的原则实施滚动式钻井, 先后对储层进行了三次滚动预测。共钻开发井 96 口, 平均单井有效厚度 4.1m, 达到了布井方案的预测指标 (预测单井有效厚度 3.5m), 地震预测符合率为 75.34%。

3.3 开展综合地质研究, 深化油藏地质认识

3.3.1 开展精细构造研究

利用新完钻井资料, 不断修改完善地震构造图。实钻井资料证实, 地震预测的构造与钻井落实的基本一致, 预测精度较高。统计 96 口开发井资料, 地震预测深度与实钻深度误差值最大为 17m, 最小为 2m, 平均相对误差为 0.46%。利用实钻井断点数据和分层数据, 在地震构造图上不断修改组合断层, 校正构造深度, 绘制了经钻井校正后的葡萄花油层顶面构造图。

3.3.2 开展成藏条件研究

利用地震资料绘制构造发育史剖面, 研究该区构造发育史。从构造发育史剖面分析, 本区构造发育可划分为三个阶段, 侏罗系—登娄库组沉积时期为断陷阶段, 受基底断裂控制; 泉头组—青山口组沉积时期为坳陷阶段, 主要受同沉积断层控制, 以补偿沉积为特点; 四方台组—明水组沉积时期为萎缩上升阶段, 地层缓慢上升并伴有褶皱运动。

该区发育三组近南北向延伸的同沉积断层, 控制着区内四级构造带的展布。姚家组到嫩江组沉积时期, 受区域构造运动影响, 同沉积断层活动加剧, 并形成大量后生断层, 与油气大规模运移期有很好的时空配置关系, 成为青山口组生成的油气向上运移的通道, 形成下生上储式油藏。

同沉积断层控制着区内的沉积和砂体分布, 但影响范围较小, 从实钻井资料可以看出, 断层附近下降盘地层厚度和砂岩厚度均较大, 离断层较远, 地层厚度趋于稳定。

3.3.3 开展储层发育状况研究

根据钻井资料研究结果, 新肇地区储层发育具有以下特点:

一是储层厚度薄, 砂体规模小, 横向变化大。统计已完钻的 96 口开发井资料, 平均单井有效厚度 4.1m/6.4 层, 平均单层厚度 0.64m。PI₅、PI₃、PI₁₁ 层砂体规模较大, 钻遇率分别为 67%、63%、63%。同样以葡萄花油层为主的高西油田和新站油田平均单井有效厚度分别为 3.6m/3.4 层和 5.1m/6 层。新肇地区平均单井有效厚度与高西油田基本持平, 但单层厚度远小于高西油田; 平均单井钻遇层数与新站油田大体相当, 但平均单井有效厚度和单层厚度明显小于新站油田。

二是单砂体的展布方向及有效厚度分布有一定的规律性。钻井区南部古 636 井区砂体展布方向基本与断层走向一致, 北部古 634 井区砂体的展布方向大体为东西向。各小层砂体分布范围有所不同, 但位置基本相同, 砂体交互错迭不明显, 出现了明显的砂岩发育区和不发育区。

第二节 异常高压油气藏形成机理

1 研究异常地层压力的意义

地层压力是推动油、气、水在岩层中流动的动力，是油气田开发中重要的基础参数，是油气田开发的能量。油气藏地层压力的高低，不仅决定油气等流体的性质，还决定油气田开发方式、油气开采的技术特点与经济成本。因此对一个油气田来说，在油田开发的早期评价阶段乃至整个开发过程，都要十分重视地层压力这个基础参数的获取，但是由于油气层深埋地下，多种因素影响油气层压力，因此要想准确获取地层压力数值，还需精心做好地层压力的测试、分析、计算工作。

2 异常高压油气藏的形成机理分析

已开发的新站、新肇、葡西、龙南油田是采油九厂近年来上产的主力区块，其地质特点与高西油田有诸多相似之处，但是前者属于异常高压油气藏（表 1-1），而后者却是属于正常压力油气藏。我们依据异常压力的理论知识和大量的单井资料，从油藏的形成入手，采用类比方法，全面剖析了油气藏异常高压的形成原因。

表 1-1 采油九厂部分油田基本情况表

油田	油藏类型	油层中部温度 (℃)	油层中部深度 (m)	原始压力系数 (MPa/100m)	原始地层压力 (MPa)
龙虎泡	层状、构造	69.00	1500.0	1.000	14.70
敖古拉	岩性、层状	60.00	1270.0	1.020	12.80
高西	构造、岩性	69.00	1490.0	1.060	15.88
新站	构造、岩性	70.90	1610.0	1.280	20.80
新肇	构造、岩性	70.20	1338.0	1.260	16.90
葡西	构造、岩性	78.76	1689.7	1.315	23.23

2.1 古压力的作用

构造作用使原来埋藏较深的且处于封闭地质条件下的地层，由于后来地壳上升使上覆地层受到剥蚀，原地层的埋藏深度变浅，因为地层仍然是封闭的，古压力保持不变，所以，对于已经变浅的地层来说，就成为异常高压地层。 ap (压力系数) = p_f (实测地层压力)/ p_h (同深度静水柱压力)，公式中的 p_h 值变小，在 p_f 保持不变情况下，则 ap 值变大。

从新站、新肇、葡西这三个油田的地层分层数据中，同样可以看出上述这三个油田在沉积过程中，曾遭受不同程度的地层剥蚀，反映具异常高压性质的三个油气藏普遍缺失明水组地层，与发育明水组地层、具正常压力系统的龙虎泡等油田相比，缺失厚度达 100m 以上；且紧邻明水组地层的四方台组、第三系泰康组与下伏地层均呈不整合接触，表明当沉积盆地接受沉积物时，地壳升高出水面，从而遭受到风化和剥蚀，在岩层表面留下风化壳，当盆