

大庆油田勘探开发研究院论文集

—— 纪念勘探开发研究院建院 40 周年

石油工业出版社

大庆油田勘探开发研究院论文集

——纪念勘探开发研究院建院 40 周年

石油工业出版社

内 容 提 要

本书选编了大庆油田勘探开发研究院科研人员在 1994—2003 年间公开发表的有关大庆油田的论文 100 篇。这些论文从“石油地质”、“地球物理”、“油田开发”、“三次采油”、“地质实验技术”和“油田信息管理技术”等不同学科、不同角度展示了大庆油田的新技术,反映了近 10 年来大庆油田勘探开发研究的新进展,对大庆油田勘探与开发起到了或正在起着重要的指导作用。

本书可供油气勘探开发的科研人员以及石油院校的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

大庆油田勘探开发研究院论文集:纪念勘探开发研究院建院 40 周年/

大庆油田勘探开发研究院编.

北京:石油工业出版社,2004.7

ISBN 7-5021-4715-2

I. 大…

II. 大…

III. ①油气勘探-文集 ②油田开发-文集

IV. ①P618.13-53 ②TE34-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 061282 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.cn

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:北京华正印刷厂印刷

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本:1/16 印张:36

字数:910 千字 印数:1-2300 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

大庆油田勘探开发研究院论文集

——纪念勘探开发研究院建院 40 周年

编 委 会

主 任:郭万奎 夏济连

副主任:迟元林

委 员:(以姓氏笔画为序)

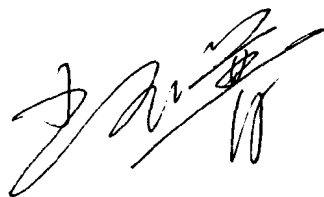
牛金刚	牛彦良	王凤兰	冯子辉	冯志强	石成方
任延广	吴河勇	张铁刚	李 莉	李子顺	李安峰
陆会民	陈树民	周学民	赵永胜	赵国忠	赵翰卿
黄 薇	蒙启安	熊华平			

序

“我创造,所以我存在”。

大庆油田勘探开发研究院自建院之日起,科研人员就以“莫看毛头小伙子,敢笑天下第一流”的大无畏精神开始了漫长、艰巨而又光荣的油田勘探开发研究历程。经过 40 年的风雨沧桑,铸就了大庆油田勘探开发辉煌的一页。陆相生油理论的创立和水驱非均质砂岩油田连续 27 年的稳产理论与实践,在创造奇迹的同时,大庆油田的科技贡献也享誉国内外。特别是最近的 10 年,油田的勘探风险越来越高,油田的开发难度越来越大,面对市场经济的严峻挑战,科研人员继续发扬了彪炳青史的大庆精神、铁人精神,通过对油田勘探开发理论的横向扩展和纵向延伸,不断拓宽油田勘探开发的新视野,为大庆油田勘探开发的柳暗花明奠定了坚实基础,铸就了勘探开发喜讯频传的大好局面。

为庆祝建院 40 周年而编辑的《大庆油田勘探开发研究院论文集——纪念勘探开发研究院建院 40 周年》文集共收录了勘探开发研究院科研人员在 1994—2003 年间发表的优秀论文 100 篇,从“石油地质”、“地球物理”、“油田开发”、“三次采油”、“地质实验技术”和“油田信息管理技术”等 6 个方面展示了勘探开发新理论、新认识、新技术、新方法和应用研究的成果。文集的显著特点是理论联系实际,针对大庆勘探开发所遇到的问题开展研究,寻求问题的解释和解决。通过隐蔽岩性油气藏的理论与实践研究,拓宽了勘探领域,取得了令人惊喜的勘探成果;通过层序地层学、火山岩地质学以及非生物成因气的成藏特征研究,带来了深层天然气勘探历史性的突破;自主研究的储集层精细描述、百万节点数值模拟和剩余油描述方法,为多层非均质砂岩油田高含水期的高效加密调整提供了技术保证;三次采油理论与应用技术研究不但改善了油田开发效果、提高了油田最终采收率,而且走在了世界的前列。显然,凝聚着科研人员心血与汗水、客观反映这些科研成果的学术论文不但对大庆油田勘探与开发起到了或正在起着重要的指导意义,同时也丰富了我国陆相油田勘探与开发的理论宝库,特别是其中部分学术论文通过国内外的转载和索引,说明其理论上的成就与历史贡献正越来越受到国内外研究者的关注,仅此也足以说明该文集的编辑出版是有价值、有意义的。科学的生命在于求真与创新。希望研究院的科研人员要牢记“行百里半九十”的古训,深刻理解“制造幻想就是促成现实”的涵义,恪守大庆优良传统,解放思想,锲而不舍,进一步拓宽油田勘探开发的新视野,撰写出更多、更有影响、更有水平的学术论文,以飨读者。



2004 年 7 月

目 录

石油地质

大庆油气勘探的新进展及勘探经验的初步总结	高瑞祺	蔡希源	(1)
向斜区岩性油气藏成藏条件及分布规律	萧德铭	刘金发 侯启军	梁江平 (13)
陆相盆地层序地层学研究中几个问题的探讨			蔡希源 (21)
松辽盆地无机成因天然气及勘探方向探讨		侯启军	杨玉峰 (25)
大庆探区勘探方向探讨			杨继良 (32)
松辽盆地白垩纪介形类生物地层学特征	叶得泉	徐静慧	(37)
松辽盆地非生物成因气的成藏特征	郭占谦	刘文龙	王先彬 (44)
松辽盆地三肇地区上生下储“注入式”成藏机制	迟元林	萧德铭	殷进垠 (50)
泰国湾第四纪层序建造与河流演化特征			冯志强 (56)
松辽盆地北部储层压力场特征与油、气、水的关系	张文宾	姜传金	徐 宏 (62)
漠河盆地中侏罗统沉积演化及含油气远景	吴河勇	辛仁臣	杨建国 (65)
松辽盆地深层火山岩体、岩相预测方法及应用	蒙启安	门广田	张正和 (72)
葡西地区岩性油藏勘探部署评价方法及经验	黄 薇	杨 辉	熊庆利 刘概芹 (77)
松辽盆地深层地层层序与时空分布特征	任延广	蔡希源	徐 宏 (83)
海拉尔盆地的构造特征及其演化	张晓东	刘光鼎	王家林 (92)
黑龙江省东部第三系盆地传递断层带特征及其石油地质意义	王孔伟	陈守田	刘立刚 (99)
兴安岭盆地群成盆机制及含油气远景评价	王世辉	王立民	唐金生 (102)
松辽盆地西部扶杨油层成藏条件和勘探潜力	张 革	林景晔	杨庆杰 杨 辉 (105)
松辽盆地徐家围子断陷构造演化	殷进垠	刘和甫	迟海江 (109)
松辽盆地北部“六史”的恢复及其与油气藏形成的关系			李世荣 (115)
松辽盆地北部扶杨油层现今水动力场分布与油气聚集的关系	姜传金	张文宾	徐 宏 楼章华 (123)
岩性圈闭识别方法	蒋鸿亮	蔡希源	唐振国 (127)
油气化探方法在勘探构造岩性油气藏中的应用	任志高	孙 丽	李红英 (131)
松辽盆地北部火山岩体岩性圈闭评价方法	唐振国	乔 卫	杨秀芳 (136)
松辽盆地北部未熟—低熟油成藏特征	孙永红	宋兰斌	(140)

地球物理

地震资料中近地表效应的去除	吴永刚	刘振宽	裴江云	吴清岭	王建民 (144)
模拟退火波阻抗反演及其应用		刘振宽	金成志	吴世旗	余钦范 (146)
跨孔地震 CT 中的逐次线性化方法			牛彦良	杨文采	吴永刚 (149)
松辽盆地地层吸收特性和地震波衰减规律研究		陈树民	宋永忠	牛彦良	(157)

应用地球物理资料研究含油气系统的尝试	李子顺	杨玉峰 (166)
层速度替换速度分析	王建民 王丽娜 宋玉琢 陈湛文	裴江云 (173)
用马尔可夫一贝叶斯方法预测孔隙度的分布	李来林 吴清岭 牟永光	王才经 (177)
共反射圆弧叠加方法在火山岩成像中的应用	裴江云 刘 洪 李幼铭	朱振宇 (186)
波动方程正演模型及应用	吴清岭 张 平	施泽龙 (194)
松辽盆地北部深反射地震 χ^2 分布处理及其深部地质特征	陈志德 杨文采 李 玲 王丽艳	(198)
地震属性分析的神经网络岩性识别技术及应用	姜 岩 周再林	秦月霜 (206)
用优选后的地震属性参数进行储层预测	秦月霜 陈显森	王彦辉 (210)
龙虎泡油田含钙储层测井响应机理研究	刘传平 施 龙	李郑辰 (214)
应用测井资料定量识别沉积微相	文 政 雍世和	王中文 (218)
过套管电阻率测井在大庆油田的应用与效果分析	闫伟林 李舟波 刘传平	李洪娟 (224)
高泥、高钙、薄储层油层识别技术及应用	徐广田	赵秀英 (230)
低电阻率油气层测井解释技术研究	杨青山 艾尚君	钟淑敏 (234)

油田开发

非均质多层砂岩油田高含水后期剩余油分布	王启民 郑兴范 林 影	(240)
产量递减方程的渗流理论基础	计秉玉	(244)
大庆油田开发指标预测方法的演变和发展趋向	任玉林	石成方 (249)
大型河流—三角洲沉积储层精细描述方法	赵翰卿 付志国 吕晓光 田东辉	王广运 (254)
大庆油田 PC 集群大规模油藏数值模拟	赵国忠 尹芝林	吴 邕 (260)
高含水后期油田产液量变化趋势研究	周学民 任玉林	王者琴 (266)
非均质多油层砂岩储层随机建模技术	吕晓光 隋 军 赵翰卿 唐许平	张永庆 (271)
窄条带砂体随机模拟井网优化部署方法	李 莉	曹瑞成 (277)
利用侧钻水平井提高水驱河道砂岩油藏采收率	付志国 杜庆龙 张平实 计秉玉	陆蔚刚 (284)
用多层次模糊综合评判法确定单层剩余油分布	杜庆龙 计秉玉 王元庆 杨会东	朱丽红 (287)
油田开发中储层的两种精细对比方法讨论	刘 波 赵翰卿	于会宇 (293)
低渗透油田开发决策风险性评价研究	韩德金 魏兴华	时均莲 (298)
油藏地球化学参数识别油水层方法研究	周永炳 刘淑芹	刘国志 (303)
大庆喇嘛甸油田水力压裂人工裂缝形态研究	王秀娟 赵永胜 王书良	兰玉波 (306)
低渗透油藏井网合理加密方式研究	周锡生 李艳华	徐 启 (312)
注水开发油田稳产界限研究	刘春林 杨玉哲	张永庆 (318)
措施产量、成本与效益优化配置方法研究	董志林 刘伟文	李 榕 (322)
水驱油田基于液量的分结构开发指标预测方法	田晓东 吴晓慧 江明立 官长路	徐延平 (328)
喇萨杏油田加密井可采储量标定方法	王树立 兰丽凤	李永刚 (333)

特低渗透储层油水相对渗透率实验研究	林玉保	史晓波	(338)
百万节点油藏数值模拟技术应用	车学林	李翠玲 赵国忠 王怀民 王曙光	(344)
特低渗透储层非达西渗流特征研究	肖鲁川	甄力 郑岩	(350)
二相—三相统一的相对渗透率数学模型	王曙光	赵国忠 李保树	(354)
喇、萨、杏油田表外储层水驱油实验研究	张江	程信芳 周庆	(360)
水驱油微观物理模拟实验研究	贾忠伟	杨清彦 兰玉波 张洪兴	(364)

三次采油

大庆油田聚合物驱油工业性试验

..... 王德民 张景存 孟繁儒 刘恒 李林 韩伯惠 戚连庆	(371)
---------------------------------	-------

大庆油田三次采油技术研究现状及发展方向	郭万奎 程杰成 廖广志	(380)
---------------------------	-------------	-------

以石油烃类为惟一碳源提高采收率菌种的研究

..... 隋军 石梅 孙凤荣 杨振宇 韩培慧 伍晓林	(389)
-----------------------------	-------

大庆油田三元复合驱矿场试验综述	程杰成 廖广志 杨振宇 姚玉明 徐典平	(395)
-----------------------	---------------------	-------

复配碱化学驱数值模拟	廖广志 隋军 王刚 牛金刚 李伟	(401)
------------------	------------------	-------

油田产出污水配制聚合物实验研究	牛金刚 孙刚 高飞	(408)
-----------------------	-----------	-------

三元复合体系的界面张力及其影响因素

..... 王凤兰 杨风华 史国蕊 胡胜国 钟新兰	(413)
---------------------------	-------

聚合物驱能否提高驱油效率的几点认识	赵永胜 魏国章 陆会民 钟玲	(418)
-------------------------	----------------	-------

大庆油田三元复合驱驱油机理研究	杨清彦 宫文超 贾忠伟	(423)
-----------------------	-------------	-------

泡沫复合体系配方的研究	伍晓林 陈广宇 张国印	(428)
-------------------	-------------	-------

聚合物驱开采指标测算方法研究	陈福明 卢金凤 陈鹏	(432)
----------------------	------------	-------

大庆油田萨南东部过渡带注 CO₂ 驱油先导性矿场试验研究

..... 谢尚贤 韩培慧 钱昱	(439)
------------------	-------

大庆油田三元复合驱油体系相行为研究	黄丽 廖广志 王刚	(446)
-------------------------	-----------	-------

三次采油用烷基苯磺酸盐类表面活性剂的研究

..... 张国印 伍晓林 廖广志 陈广宇 徐艳姝	(451)
---------------------------	-------

大庆油田泡沫复合驱油先导性矿场试验

..... 张思富 廖广志 张彦庆 钱昱 刘宇	(455)
-------------------------	-------

地质实验技术

松辽盆地北部扶杨地层水地球化学特征研究	黄福堂	(461)
---------------------------	-----	-------

松辽盆地深层火山岩储层包裹体及天然气成藏期研究

..... 冯子辉 任延广 王成 李景坤 王雪 关秋华	(469)
-----------------------------	-------

嘉荫盆地太平林场组巴尔姆孢(Balmeisporites)的发现及其意义

..... 万传彪 刘本培 乔秀云 杨建国 单玄龙 任延广	(477)
-------------------------------	-------

非烃和沥青质热模拟生烃研究	霍秋立 冯子辉 付丽	(486)
---------------------	------------	-------

松辽盆地北部深层天然气的阶梯式扩散机制	李景坤 刘伟 宋兰斌	(490)
---------------------------	------------	-------

松辽盆地北部黑帝庙油层原油生物标记化合物特征研究 ...	李振广 宋桂侠 李景坤	(493)
------------------------------	-------------	-------

松辽盆地北部火山岩储层孔隙特征与演化	邵红梅	王 成	姜洪启 (497)
用 GO—MS—MID 检测原油中痕量生物标记化合物	宋桂侠	黄春燕	李振广 (500)
钻井现场有机地球化学录井与油气识别评价技术	张居和	方 伟	冯子辉 (503)
激光法测定油气藏储层碎屑岩粒度分布的研究 ... 徐喜庆	王占国	张维琴	张作祥 (513)
三元复合驱采出液中羧酸盐表面活性剂检测方法	邹信芳	孔 艳	巩继海 胡仲敏 宋立群 (520)

油田信息管理技术

用 KERBEROS 实现网络计算的安全认证	李成斌	熊华平	刘万伟 (525)
数据库技术在油田勘探开发中的应用	熊华平	王洪礼	罗广华 (530)
客户/服务器计算技术在油田开发信息管理中的应用	陈付平	刘福慧	赵永生 (536)
基于 NETSCAPE 的企业网信息服务安全体系的建立	吴 钧	熊华平	(540)
Solaris 远程资源存取访问的探讨与分析	牛志忠	李建霞	(545)
UNIX 系统多 IP 地址的配置	刘万伟	于 敏	李建霞 (550)
矩阵 Kronecker 乘积及其应用	许君一	孙 伟	齐东旭 (554)

大庆油气勘探的新进展及勘探经验的初步总结

高瑞祺 蔡希源

摘要 40年来,大庆油气勘探取得了较大成果,勘探新领域不断被发现,回顾40年的勘探历史发现,每一项勘探新领域的拓宽都是石油地质理论新进展,勘探技术进步和选择正确勘探方法的结果。

从1955年秋松辽盆地开始进行石油地质野外调查算起,大庆油气勘探已有40年的历史。在这40年间,大庆油气勘探已不局限在松辽盆地,在黑龙江省及内蒙古自治区的呼盟地区 $72 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的23个沉积盆地展开了油气勘探工作,累计找到24个油田,15个气田,探明石油地质储量50多亿吨,探明天然气地质储量300多亿立方米。并在海拉尔、汤源、延吉等地发现了工业油气流。

总结大庆40年来的油气勘探工作,地质成果是丰硕的。由于石油地质理论的发展,勘探技术的突破和现代勘探方法的应用,使勘探领域在不断扩大,勘探效益在逐年提高,初步形成和完善了非海相沉积盆地油气勘探理论和配套技术,建立和完善了一套适用于非海相沉积盆地的现代勘探方法。

一、40年来取得的主要勘探成果

1. 发现了世界上最大的非海相砂岩油田——大庆油田

大庆油田位于松辽盆地中央坳陷区的中心部位,为一大型长垣构造与北部大型河流三角洲砂岩体叠置控制下的整体含油。总体展布呈北北东向,南北长约145km,东西宽6~30km,具有北窄南宽的特点。其上发育喇嘛甸、萨尔图、杏树岗等七个三级构造,总闭合面积 2500 km^2 。在湖进、湖退的作用下形成了生油体、输油体、储油体、圈闭体和盖油体的最佳匹配,并在大庆油田形成的过程中,生、排、运、聚期始终与构造圈闭的生长期同步演化,使得长垣上的巨大储集层空间源源不断地获得油气,形成了世界级的非海相特大型砂岩油田。

另外,在大庆长垣南部葡萄花油层扩边及其下扶、杨油层钻探均获较好进展,有1亿多吨资源前景。

2. 发现储量近 $10 \times 10^8 \text{ t}$ 的世界级低渗透含油区——三肇含油区

三肇地区有扶、杨和葡萄花两套含油层位,均为低水位期的河流三角洲沉积,属低孔低渗

油层。扶、杨油层多级河道薄层砂体错叠连片,形成大面积含油;葡萄花油层多为三角洲前缘席状薄砂层沉积,平面上也呈大面积分布。层垂向上叠加形成了三肇地区大面积含油区。现已探明和控制六块亿吨以上的含油区,其中, 2×10^8 t 两块(朝阳沟、榆树林); 1.5×10^8 t 两块(肇州,宋芳屯—模范屯); 1×10^8 t 两块(头台,肇源)。另外,在永乐地区还发现葡萄花油层和扶、杨油层叠合含油面积 409km^2 ,在这一含油面积内有十几口井都发现了葡萄花油层,且产能较高。据预测永乐地区有潜在石油资源两亿多吨,预计最终可提交一亿多吨探明储量,是“九五”期间储量的有利接替区。

3. 古龙地区也找到相对连片含油区

长期以来,古龙地区一直徘徊在寻找小幅度构造高产区,很难形成一定储量规模。近几年来,深入地开展了油气分布规律研究和借鉴三肇地区的经验,成功地发现了三个局部连片的含油带。一是新站地区,已初步圈定含油面积 186km^2 ,预测石油地质储量一亿多吨,主要目的层为葡萄花油层,砂岩厚 $8 \sim 15\text{m}$,单层厚 2m 左右,产量较高,平均单井日产 $4 \sim 20\text{t}$,其次为黑帝庙油层和扶、杨油层,为一整装的油藏;二是龙西地区为一萨、葡、高、扶、杨多油层含油,叠合含油面积 500km^2 ,预测储量一亿多吨,三是大庆长垣西侧鼻状构造带,分别在黑、萨、葡、高、扶、杨等不同油层获工业油流,预计可形成储量规模。

4. 天然气勘探有新发现

天然气勘探除在三肇地区周边中浅层找到汪家屯、升平、宋站、羊草和三站、四站、五站、长春岭等两个气藏群外,最近两年又在深层有所突破。一是在汪家屯、升平两个 T_3 构造(面积为 22.6km^2 和 72.4km^2)钻探获工业气流,汪 9—12 井自然产能达 $15 \times 10^4\text{m}^3$,升深 1 井自然产能 10×10^4 多立方米,其它 3 口井有较厚气层显示,估算资源量 $350 \times 10^8\text{m}^3$;二是在古中央隆起带东侧发现大面积侏罗系和登一段地层超覆气藏,预测资源 $124 \times 10^8\text{m}^3$ 。

5. 外围盆地勘探有新进展

海拉尔盆地勘探已优选出乌尔逊、贝尔、呼和湖、呼伦湖、查干诺尔等五个凹陷和苏仁诺尔、辉索木等十个含油有利带,并于海参 4、乌 4、新乌 1、苏 1 等 4 口井获工业油流;依舒地堑在汤原断陷中央隆起构造带上钻探的汤参 2、吉 1、互 1 等 3 口井获工业气流,延吉盆地延 4 井获工业气流。

二、勘探新领域的拓宽,主要依靠地质理论的新发展

1. 陆相生油理论的提出和发展,对大油田的发现起了重要作用

陆相生油始终是国内外石油地质专家关注和探索的问题,尤其是我国老一辈地质学家,他们通过对我国陆相石油地质问题的研究,大胆地提出了“陆相生油学说”。在“陆相生油学说”的指导下,我国开展了松辽盆地、渤海湾盆地的石油会战,相继发现了大庆、胜利、辽河、大港、华北等油田。随着陆相大油田的发现和资料的不断积累,广大石油地质工作者又对陆相生油盆地的构造、沉积、古气候、古水动力、古地温、古水介质物理化学特征等地质条件进行了详细的研究,并应用现代化实验手段,深入地探索了陆相油气的生成、排烃、运移和聚集机理,总结了陆相生油的地球化学特征,发展和完善了“陆相生油学说”,逐步形成了一套有中国特色的“陆相生油理论”,填补了“唯海相生油论”的不足,然后再用于指导非海相盆地的油气勘探,对寻找大油田起到极其重要的作用。

我国的“陆相生油论”萌发于 20 世纪 40 年代,孙建初(1938 年)、潘钟祥(1941 年)、黄汲清

(1943年)、高振西(1950年)等地质学界老前辈,通过对陆相盆地油气田的石油地质问题研究,提出了“石油不仅能采自海相地层,也能来自淡水沉积”,“凡湖相白垩纪地层分布之区,均应为探索石油之对象”等重要论断。侯德封教授(1959年)及中国科学院兰州地质研究所根据我国西北地层陆相油气田形成条件,指出陆相生油与海相生油一样,取决于三个因素,一是有机质的数量,二是有机质堆积的地质条件和沉积环境,三是有机质转化为石油的条件,进而提出了陆相油气田形成的基本条件是:“内陆潮湿拗陷”。朱夏教授(1960年)在“关于预测我国含油气性的几个基本问题”一文中指出:“新生代沉积中油气的形成,看来并不需要更多的条件,唯一的条件可能只是在当时运动体制下的有利还原作用的环境”。他认为“长期拗陷”无疑是油气生成的必要条件。在陆相生油理论的宏观指导下,找到了大庆油田,进而证实了石油地质专家们“陆相生油,”的科学论断,而且也进一步说明了陆相沉积地层不但能生油,而且能够大量生油,形成大油田。1960年11月石油部召开了全国油气田分布规律成果汇报会,比较全面、系统地总结了建国以来石油地质理论和实践,提出了陆相生油的地质条件和地球化学指标,认为陆相生油的必要条件是:存在一定量的生油母质,具备使有机质能够聚集、保存并向石油转化的稳定还原环境。并提出:在振荡运动以沉降为主的长期拗陷的内陆湖盆形成的深水一半深水相沉积区是生油层形成和发展的最有利地带。“深水拗陷论”其核心是强调了生油层形成的构造条件,即陆相生油层的形成主要与在构造作用下的深水—较深水湖相沉积有关,而古气候和沉积时的水介质条件不是陆相生油层形成与发育的决定因素。这次会上还依据松辽盆地已发现的油气藏和油气显示紧密地分布在主要生油区内或生油层附近的勘探实践,提出了生油岩控制了油气分布及深拗陷区较深水沉积相带、砂岩体前缘、长期发育的二级构造圈闭是油气最富集的地区。

基于上述认识,在松辽盆地开展了拗陷区内二级构造带的整体解剖,又发现了扶余、朝阳沟、龙虎泡等油田。其后,随着松辽盆地勘探程度的提高,地质资料的不断丰富,实验手段的更新,大庆的石油地质工作者通过对松辽盆地油气地球化学特征、成油机理和油气形成的地质条件的深入剖析,全面、系统地总结了松辽盆地陆相油气的生成、运移和聚集,提出了陆相油气形成的最佳条件是:大型富营养湖泊,大面积长期继承性深水凹陷环境,快速湖进或非补偿沉积和“被盖式”封闭盆地的聚热效应等四个条件有利配合。主要强调湖泊的营养类型和地温场的聚热效应在陆相油气形成中的作用,以及多种地质因素在时空配置关系上的重要性,深入地探讨了油气生成和排运特征,建立了生油模式。用石油形成和分布的理论,剖析了松辽盆地的许多地质问题,开展了一轮油气资源评价,预测了盆地的油气资源前景,为进一步勘探指明了方向,较好地把握石油地球化学和石油地质学紧密地结合起来,全面地发展了陆相生油理论,为盆地的进一步勘探提供了理论依据和资源基础。

1986年以后,大庆广大石油地质工作者继续开展陆相生油理论的研究,通过排烃机理的研究,提出了排烃门限的新概念,开展了盆地分析模拟研究,充分利用计算机技术,恢复五史,定量地重塑油气形成、运移、聚集历史。并以凹陷为单元,用盆地分析模拟系统对盆地的远景资源进行了二次评价。经评价盆地石油远景资源量比一次油气资源评价增加 $10 \times 10^8 \text{ t}$, 分层、分区带地给出油气远景资源量及剩余资源量。指出了三肇凹陷、新站一大安、龙西为有利的含油区带,为在凹陷勘探,寻找大油田提供了理论依据和资源基础。

总之,陆相生油理论的提出、发展和完善,有效地指导了松辽盆地大油田的勘探实践。

2. 非海相沉积理论的发展,开拓了凹陷区寻找岩性油藏的新局面

油气田的形成无不与沉积有关,进一步说明油气的形成、运移和聚集都与沉积紧密相连,

通过沉积的研究,可了解生油层、储集层、盖层的时空分布及组合配置。预测岩性圈闭、地层圈闭的最佳位置。那么,当一个盆地构造圈闭勘探完后而进入岩性圈闭勘探阶段,对沉积的研究就显得尤为重要,这一点在松辽盆地勘探实践中已得到证实。在构造含油圈闭勘探阶段二级构造带起到了指导作用。通过大庆长垣解剖认为大砂岩体的核部,前缘与二级构造带有机匹配是形成大油田的必要条件。同时发现松辽盆地发育有北部、英台、保康三个大砂岩体,人们长时间地围绕这三个砂岩体前缘开展勘探,寻找高产区块,但没有大的突破。其后,引入层序地层学的新概念,发现除三个大砂岩体外还有低水位期的河流相,三角洲相的河道砂体错叠连片的大面积分布,主要分布在凹陷内,其上被生油岩覆盖,有利于大油田的形成。引导松辽盆地勘探工作脱离三个大砂岩体的束缚向凹陷进军,发现了两江大含油区,现已形成 $10 \times 10^8 \text{ t}$ 的雏形,开拓了凹陷找油的勘探新局面。

大庆油田发现后,许多石油地质工作者对松辽盆地的地层,油层特征和沉积特征都进行了详细的分析研究,胡朝元(1962年)在松辽石油勘探技术座谈会上提出了砂岩体的概念。砂岩体指具有相同成因结构特征,同一水动力系统的砂层组合体,包括主体部、核部、前缘带三个部分。并指出:松辽盆地的油田大都分布在砂岩体核部和前缘带上,在砂岩体前侧的断续砂岩分布区域透镜体零散砂岩区内,可形成规模较小的油田,在砂岩上倾尖灭地带,则形成岩性油气聚集带。并根据对北部砂岩体的解剖,概括为:砂岩体主体部及核部砂层总厚度大,层数多,单层厚,渗透性好,储油条件好,生油条件差;断续砂岩区及更向前的砂岩零星分布区,储油条件差,但生油最有利;介于二者之间砂岩体前缘带,兼有生油、储油层全面有利的条件,故从油源区向四周运移聚集的过程中,在砂岩体的前缘带,核部首先获得油气聚集,形成最丰富的背斜构造油藏,如大庆长垣北部油田;在砂岩继续分布区,虽然靠近油源,但砂层不好,只能形成数目多,但产量不大的油田,象葡萄花、升平、龙虎泡类型的岩性构造油藏。这些认识对于快速评价和拿下大庆油田以及后期的开发工作都起到了重要的作用。

20世纪70年代松辽盆地对沉积研究开始进入全新的阶段,引入地理学、地貌学的新概念,采用“将今论古”的方法,利用岩石中保存下来的沉积特征,恢复古地理环境。裘亦南、王衡鉴等人针对松辽盆地拗陷期沉积特征的研究,提出了河、湖三角洲的概念。他们认为这种类型的三角洲的成因是河流向湖泊推进作用下形成的,并总结出洪积相、泛滥平原相、海洲分流平原相、三角洲前缘相、滨浅湖相、较深—深湖相和平原淤积相等七种沉积相模式,确定为松辽盆地拗陷期是湖泊的主要发育时期,这个时期湖盆沉积由上述七种沉积相组成,湖水从四面八方汇集,在平面上构成多物源、多沉积体系,相带呈环状展布的特点。其后蔺毓秀根据400多口井岩心资料和大庆长垣的密井网解剖资料,提出了河—湖水进三角洲的概念。认为水进三角洲是在湖泊水域不断扩大的水进过程中形成,与河流向湖泊推进而形成的水退三角洲完全不同。她依据二级复合沉积旋回的沉积特点,将其划分为水进期、稳定期、水退期三个阶段,水进期形成水进三角洲,沉积稳定期形成大面积较深—深湖相沉积。水退期形成水退三角洲沉积,并以姚家组为例剖析了水进三角洲的沉积结构,提出水进三角洲的砂体平面展布模式为:河口堆积砂体—水下分流河道条带砂体—水下分流河道透镜状砂体—席状砂体。

在这个阶段无论认为三角洲是由河流向湖泊推进的湖退作用形成,还是湖域扩大的水进作用形成,只是对三角洲成因解释的差异,他们共同的观点都认为河湖三角洲相沉积最有利于油气的形成、运移和聚集,也就是相当于60年代砂岩体的概念。在沉积理论的指导下,该阶段的勘探工作主要是在北部三角洲,英台扇三角洲、保康三角洲的前缘相侧缘展开,并在大庆油田开发过程中运用小层沉积相成果调整注、采方案,提高采收率,见到明显效果。

1986年后松辽盆地沉积相的研究引进层序地层学的新概念,采用地质—测井—地震相结合的方法研究沉积微相,开展精细地质研究,加强横向预测,发现三肇地区为多个沉积体系交汇,多期河流相,三角洲相的多级河道砂体叠加错叠连片,构成大面积河流—三角洲沉积体,虽然储层物性较差,但可在上覆青一段生油层超压, T_2 层断层的有机配合下形成油气聚集构成大面积低渗透油田。在这一理论的指导下,于两江地区开展了以大面积岩性油藏为对象的勘探工作获得了成功,发现了两江 10×10^8 t级的大含油地区。开创凹陷找油的新局面。构成松辽盆地勘探的第二个储量高峰期。

三、依靠科技进步,发展先进适用的配套勘探技术, 开创薄互层低渗透油藏勘探新局面

松辽盆地两江地区发育两套油层,从下至上为扶杨油层及葡萄花油层,这两套油层均属薄互层低—特低渗透油层。其特点为储层薄,横向分布不稳定,泥质含量高,成岩作用较强,物性差,易污染,一般不具自然产能。为了提高勘探效益,打开勘探局面,针对油层的地质特点,组织攻关,逐步发展了一套适合薄互层低渗透油藏的勘探技术。主要包括薄互层高分辨率地震勘探技术,低渗透油层的钻井、完井油层保护技术,低渗透油层录井、测井的井筒识别技术,低渗透油层射孔、试油、压裂的油层改造技术。通过这些技术的综合应用,突破了低渗透油层的工业价值关,使两江地区的含油扩大连片,发现了朝阳沟、榆树林、宋芳屯—肇州、头台—新立、新站—大安五个 2×10^8 t以上的大油田,加快了两江地区含油区的发现和评价。

1. 发展薄互层高分辨率地震勘探技术,预测厚油层分布区、提高勘探效益

高分辨率地震勘探技术包括采集、处理和解释三部分,在野外采集上跳出了“七五”期间的“四高、四小、一降低”的采集方法,大胆改进原来的采集方法,引进新技术,严格施工现场管理,反复进行野外采集方法和采集参数的试验,采取多种措施提高信噪比和分辨薄层的能力。目前在 T_2 层附近的主频已达到60Hz,比“七五”提高一倍;在处理上利用谱均衡方法压制面波提高原始单炮信噪比,采用T—V方法对原始资料球面扩散补偿,采用多道反褶积方法压缩子波,进一步提高信噪比,采用多次波速度分析和多次剩余静校正、分频叠加等技术,增强同相轴的连续性,在F—X域进行高频噪音滤波提高了频端的信噪比。通过这些处理方法使 T_2 层附近的视频达80Hz,为薄互层砂岩预测和烃检测提供了基础。在解释上狠下功夫、广泛推广最大相关模式判别,广义协克里格、神经网络、Delog、宽频岩性约束反演等方法进行砂体预测。然后再通过模式识别、神经网络、衰减和吸收系数、亮点、平点等新方法进行烃类检测,将砂体预测结果和烃检测相结合优选高丰度含油区块,进行井位部署,使探井钻探成功率提高到50%以上,评价井钻探成功率提高到80%,开发井成功率达90%以上。如在榆树林油田勘探阶段采用地质—测井—地震相结合的方法预测出的杨三组厚砂岩区部署了东14井,于杨三组底部钻遇一单层8.4m的含油砂岩,压裂后试油获37.8t工业油流。东14井成功之后,应用相位追踪法对该层的分布范围进行了定量预测,又部署于东16井,中途测试,获44.83t/d工业油流。砂体预测和烃检测成果的应用也可减少钻井口数,提高了单井控制面积和储量,单井控制储量由“六五”的 38×10^4 t提高到“八五”的 61×10^4 t。1994年效益最好,每口探井控制储量达 112×10^4 t,大大地提高了勘探效益。

2. 发展低渗透油层保护油层钻井技术,降低钻井液对油层的伤害

经分析认为钻速和钻井液性能是伤害油层的关键因素,在“七五”期间围绕这两个问题组织了攻关,一是使用PDC钻头提高钻速,强化现场协调管理,压缩建井周期,平均每口井的建

井周期由原来 56d 压缩到 30d。二是研究钻井液性能,首先分层、分区研究低渗透层的粘土矿物成分、类型、含量及分布特征,按粘土矿物特征设计钻井液配方,再取样进行室内和现场试验,最后确定出性能较好的钾铵聚合物钻井液,这种钻井液与两江低渗透层配伍,具有防塌、滤失量小,性能稳定,水眼粘度低,有利提高机械钻速,实现了近平衡钻井、滤液中的 K^+ 、 NH_4^+ 抑制了粘土膨胀分散,减轻了对油层的损害,起到了保护油层的作用。

3. 发展低渗透油层录井、测井的井筒识别技术,提高油层解释符合率

(1)录井紧密围绕油气水层解释,进行了地一气合一的改造和配置了综合录井仪,增加了现代化录井手段,并开展了以油气水层解释为中心的《应用录井资料判断油气水层标准研究》、《碎屑岩油气水层综合解释专家系统》研究,地化录井、热失重等多项科研攻关,建立一套适合低渗透油气层的描述方法和油气水层解释规范,提高了对油藏的认识,使录井工作由定性向定量方向发展,综合解释符合率由 1985 年的 47.5% 提高到 90% 以上,实践证明取得了较好的效果。

(2)针对大庆长垣以西地区,含钙、含泥、薄层和低电阻油层的特点进行测井攻关,研制出了短间距声波测井仪,60 兆电仪和高分辨侧向测井仪,发展了高分辨处理技术,研制了利里—卡尔曼反褶积法软件对薄层进行校正,剔除含泥、含钙的影响,提高薄层测井解释分辨率。为了使测井解释为地质提供可靠的地质参数,还开展了测井解释基础研究,利用实验室分析,为研究测井解释基础参数 m 、 a 、 n 、 b 与岩性的关系提供依据,并分区建立油气水层、孔隙度解释图版,使测井油气水层解释符合率大幅度地提高。如三肇地区 1993 年共解释了 486 个层,经试油验证其中 464 层符合,解释符合率 95.5%。即使在大庆长垣以西的复杂区,1994 年测井解释符合率也达 83%,提高了 20 个百分点。

4. 发展低渗透层试油、压裂油层改造技术,提高产能

(1)采用有枪身射孔,深穿透高孔密射孔技术,使射孔浓度大大提高。新研制的三种 YD-127 射孔弹平均穿混凝土靶深度突破了 700mm 大关,其中最好的 YD127-2 型弹平均穿深 885mm,对正确评价和提高油气层产能,解除油层污染起到了很大作用。

(2)压裂经过近十年的攻关,逐步发展了一套适合低渗透油层的从压裂选层、计算机优化施工设计到优选压裂材料、压裂管柱、压裂添加剂及压裂效果预测等探井压裂改造工艺技术,使压裂改造成功率保持在 70%~80%,压裂后产能提高几十到几百倍。

压裂选层主要采用二种方法,一是应用压力恢复曲线型式划分为三类,优选斜率大的压力恢复快的层进行压裂,榆树林油田证实效果较好,压裂成功率可达 80% 以上,二是应用测井资料预测产能选层,将压裂后试油层测井信息建立数据库,提取并拟合,定量预测压裂后产油量,依据预测产量选层,榆树林油田用这种方法优选 15 口井,压后产量与预测产能吻合较好。

优化压裂施工设计,利用计算机技术定量筛选优化压裂设计,通过输入油层力学参数,物性参数,流体参数,支撑剂部分参数,温度场和滤失剖面等 90 多项参数,给出压裂施工参数及产油量预测,有效地提高了压裂裂缝几何尺寸的确定精度和压后产油的符合性。1993—1994 年在肇源地区通过优化设计优选出 15 口井,其中有 11 口压裂后产量符合,占 73.3%。

优选压裂材料,依据闭合压力,导流能力选择支撑剂,开发耐高温低伤害压裂液及系列添加剂,提高加砂强度,砂比由 26% 提高到 35% 以上,具有低压胶链功能,使支撑剂与压裂液在混砂器内有均匀搅拌时间,有利于多砂比加砂,压裂后易破乳和破胶,有助于压裂液返排。据统计采用这种压裂液和添加剂,可使单层试油周期由 20d 降至 14d,既缩短了试油周期,又减轻了对油层的伤害。

此外,还开发了下井一趟管柱不上提压裂多层技术和限流压裂技术,既节约了压裂投资,又提高了工作效率。

压裂技术的提高,使我们认识到低渗透油层的有效渗透率下限可以到 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,对过去未压裂的老井重新认识,通过研究建立了产能的预测方法,使一大批老井压裂后获得工业油流,取得了较好的勘探效益。

(3)试油通过近7年在三肇地区的实践和探索发展了一套适应低渗透油层的试油测试技术,压裂排液技术。

低渗透油层的试油测试技术包括跨隔测试和测试工作制度的选择及开、关井时间的确定两部分。跨隔测试是在测试井段顶、底附近下两级封隔器,把压缩体积限制到最小值,这样就可以加速油层压力恢复,保证在有限的关井时间内测到油层真实的原始地层压力。如源14井,用常规和跨隔两种方法进行试油测试,尽管工作制度和开、关井时间完全一样,但测试结果差别较大,前者实测地层压力为6.9MPa,压力系数0.37MPa/100m,后者16.9MPa,压力系数0.9MPa/100m,接近地层原始压力。通过三肇地区大量跨隔测试,修正了1987年前采用常规测试认为扶、杨油层为欠压层的认识。对测准低渗透层的压力由30%提高到57.2%,获得了较好的测试效果;根据试油目的选择工作制度,并开发试井设计软件,优化开、关井时间的确定,提高试油成功率。

低渗透油层压裂试油排液技术主要包括单向单流封闭气举和双向单流封闭气举(抽汲)排液两种工艺,比光油管气举排液具有明显的先进性。这两项工艺的应用可使单层试油工期减少6d左右,它不但能缩短压裂液返排时间,而且还能提高产能。如朝90井光油管气举日产液 $6.73\text{m}^3/\text{d}$,其中油 $0.5\text{m}^3/\text{d}$,改用单向封闭气举排液日产液 $8.51\text{m}^3/\text{d}$,其中油为 $2.62\text{m}^3/\text{d}$ 。另外尤其是双向封闭气举(抽汲)可用于老井复查后的二次试油,使一大批老井复活,“八五”期间就有84口老探井重新获得工业油流。仅肇州地区老井重新试油,新获石油储量 $5326 \times 10^4\text{t}$ 。

四、不断总结勘探经验,建立科学勘探方法和程序, 推行现代勘探,走效益之路

1. 合理安排勘探程序,制定正确规划部署,快速发现和评价大油田

(1)着眼于全盆地,贯彻“三边”勘探方针,开展以地球物理为主的区域勘探,加速发现大油田。

松辽盆地的勘探工作一开始,就注意从盆地的整体出发,点面结合,以点带面,正确处理区域勘探和重点解剖的关系。贯彻“三边”勘探方针,即边普查、边细测、边钻探,充分发挥地球物理技术在覆盖区勘探的优势,多兵种联合作战合理地安排勘探程序,因地制宜地选择各种勘探方法。灵活掌握钻探设计,即五位一体,综合勘探的方法及时发现大油田。

具体做法是:一是从盆地的全局出发,普查区和概查区的范围要覆盖整个盆地,区域性大剖面,既要跨越不同构造带,又要能控制全盆地;二是采用施工速度快、效率高的航空磁测,重力、电测深工种,框定了盆地范围,沉积岩厚度,基底岩性与结构以及大地构造轮廓;三是根据重、磁、电解释成果,在重点部位部署地震,进一步落实局部构造;四是配合浅井钻探了解地层层序,在目的层较浅的地区用以查明构造及油气显示情况,浅钻在松辽盆地普查工作中发挥了巨大的作用,全盆地几个主要油层的第一口见油井都是浅钻(如杨大城子油层—南14井、扶余油层—登1井、高台子油层—金1井,葡萄花油层—南17井,黑帝庙油层—同1井);五是多工

种工区相叠合。区域大剖面的关键地段,多工种相结合,达到各项资料互相验证综合解释。

由于采取上述做法,从1955年秋到1958年,仅用两年多的时间,就从宏观上查明了盆地的全貌,明确了在盆地的中西部存在着沉积岩厚达5000m的深拗陷区,中央拗陷区及其附近是含油气远景最好的地区。提出“打拗陷不打隆起,打拗陷中的隆起”的方针,在这一认识的指导下,根据物探综合解释圈定出高台子背斜构造、部署了松基三井,钻到中部含油组合,见好油气显示并提前完钻试油,于1959年9月26日获工业油流,发现了大庆油田。

(2)从局部构造入手,整体解剖二级构造带,“三点定乾坤”快速拿下大庆油田。

当松基三井获工业油流后,将大庆长垣提前进入预探阶段,为了节省时间,快速拿下大油田,采取了预探和详探互相穿插的方式灵活掌握。总的部署原则为“以二级构造为整体,从局部构造入手,采取大剖面方式,用三点合一方法(快速钻井,获取资料,重点试油)灵活掌握钻探设计,认真进行试油工作”。

详探和预探相结合,向砂体核部甩开,“三点定乾坤”。

松基三井获工业油后,根据长垣南部地震详查资料发现,紧邻高台子构造附近的葡萄花构造要比高台子和太平屯两个构造面积大的多,圈闭面积达300多平方千米,因此,采用了预探与详探相结合的方法对葡萄花构造进行了全面钻探部署。从1959年10月—1960年1月仅用了3个多月的时间在葡萄花构造就有一批探井获工业油流,还有一些探井钻探中见含油显示,初步落实葡萄花构造含油面积可达200km²的较大场面。但根据松基三井与葡1井地层对比,发现葡萄花油层向北增厚,预示着油层厚度更大产能更高的部位可能在长垣构造带的北部。据此,1960年第一季度重点组织了长垣北部萨尔图、杏树岗、喇嘛甸三个构造高点上的预探,分别部署了萨66井、杏66井和喇72井。经钻探发现油层情况与长垣南部有较大变化,长垣南部仅在姚一段约50~60m井段内发育两组砂岩,砂岩厚度10m左右,产能20t/d左右,而在北部这三口井含油段从嫩江组一段的下部到青二、三段中上部约400m井段内,出现几十组砂岩,砂岩总厚100~200m,日产油一般可达50~100t,从而证实了油层厚度大,产能高的部位在大庆长垣北部,这三口关键探井的发现,当时被誉为“三点定乾坤”。同时在大庆长垣西部的敖包塔构造上的敖26井葡萄花油层也获得了工业油流,至此,大庆长垣从南到北七个构造高点上均获工业油流,展示出长垣构造带上整体含油的宏观面貌。

(3)全面规划、合理部署、快速评价大庆油田。

为了快速评价大庆油田,主要采取了以下三点做法。

①部署三类探井,准确圈定含油面积。一类是探边井,布在构造东西两翼较低的部位,目的是了解各组油层的油水界面和含油边界。二类是探鞍井,即在喇嘛甸和萨尔图构造之间的鞍部、萨尔图和杏树岗构造之间的鞍部钻详探井,通过喇75、喇95、萨94、萨96和杏16等井钻探结果均见油层,证实了大型二级构造带控制了含油富集。三类是剖面井,考虑到构造的复杂程度和储层变化情况,按照适当的井距和剖面距,部署了一批详探井,钻探结果也均见到油层,证实在含油区内部不存在不含油的“天窗”。经过这三类探井的钻探评价,证实了大庆长垣整体含油,准确地圈定了含油面积。

②系统获取岩心和分析资料。为了加快大庆油田的评价工作,尽量减少取心工作量,但同时又要取得具有代表性的分析资料。为此,安排三种取心类型。一是大部分探井不取岩心,按照不同构造部位均匀分布的原则,选少数探井在油层部位取岩心;二是只少数重点探井采大段连续取岩心,如杏68井连续取岩心井段长达205.1m;三是邻近的几口取心井,接起来形成连续的剖面。