

窄薄砂体油藏 开发调整技术

房宝财 张玉广 许洪东 等◎编著

石油工业出版社

窄薄砂体油藏开发调整技术

房宝财 张玉广 许洪东 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要结合大庆长垣南部窄薄砂体油田投入开发 20 余年来的实践和科研成果,重点介绍了油藏地质基础研究、储层描述、开采动态分析、油田开发调整、油田开发规划及经济评价、提高采收率研究等技术的基本原理和方法。对窄薄砂体油田的地质特征和开采规律有比较接近客观实际的研究和认识,对制定正确的开发方案和调整挖潜措施具有一定的指导作用,是集理论研究和实践应用为一体的综合性书籍。

本书可供从事油田开发工作的油藏工程技术人员,油田管理人员、研究人员及石油院校相关专业师生参考和借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

窄薄砂体油藏开发调整技术/房宝财等编著

北京:石油工业出版社,2004.11

ISBN 7-5021-4812-4

I. 窄…

II. 房…

III. 油砂体-油田开发

IV. TE343

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 111019 号

窄薄砂体油藏开发调整技术

房宝财 张玉广 许洪东 等编著

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

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心排版

印 刷:石油工业出版社印刷厂印刷

2004 年 11 月第 1 版 2004 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:19.25

字数:493 千字 印数:1-2000 册

定价:58.00 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

《窄薄砂体油藏开发调整技术》

编著委员会

主 编：房宝财

副 主 编：张玉广 许洪东

编 委：宋 彪 刘洪涛 梁乃成 李迎春

王淑红

前 言

具有 40 年开发历史的大庆长垣是典型的陆相河流—三角洲多油层沉积,除北部喇嘛甸、萨尔图、杏树岗油田具有厚度大、砂体宽、油层多的特点,南部太平屯、高台子、葡萄花和敖包塔则是典型的窄薄砂体,以水下窄小分流河道砂体沉积为主,属窄薄砂体油田(即:一般单层砂体厚度在 1.5m 左右,砂体宽度 300m 左右),特别是葡萄花和敖包塔油田,砂体分布更加零散,多呈条带状、枝网状分布,断层发育。开发 20 余年来,已累计生产原油 $4000 \times 10^4 \text{t}$,为大庆油田稳产 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 做出了应有的贡献。在开发过程中,通过大量的生产实践和科学研究,逐步形成了具有窄薄砂体油田开发特点的油藏工程研究模式。该项技术研究成果荣获 2003 年中国石油天然气集团公司技术创新二等奖,对改善窄薄砂体油田中高含水期开发效果,提高油田采收率具有一定的现实意义。

本书吸取了国内外同类油田油藏研究的新思路,针对窄薄砂体油田开发特点,较为系统地介绍了窄薄砂体油田油藏工程研究基础、原理、技术、方法以及实用曲线、图表等,总结了葡萄花油田近年来的生产实践和科研成果。通过分析大庆长垣南部窄薄砂体油田的沉积特点,提出了“四控两结合”的非均匀二次加密调整方法,“两分一优”的注采系统调整方法及不稳定注水技术,有效地控制了含水上升及产量递减速度;通过结合地震、地质、测井等精细储层描述技术,进行精细构造研究、测井约束地震反演、三维储层随机建模、储层综合评价等工作,为油田局部加密、扩边、注采系统调整等挖潜措施提供了可靠依据;通过应用地震岩性反演、氧化还原电位反演等测定含油富集区技术,综合评价油田周边资源潜力,建立了油藏勘探开发一体化管理的整体工作思路;通过在窄薄砂体油田中开展化学驱、蒸汽驱、二氧化碳吞吐采油、微生物吞吐采油等提高采收率技术的探索、研究与实践,对改善窄薄砂体油田中高含水期开发效果,提高油田采收率起到了积极的促进作用。

本书是在前人工作的基础上,参考查阅了大量的相关资料、科技文献(参考文献仅列出了公开出版的图书文献,大量的油田内部资料均未列入),由专门从事油田开发工作的技术人员编写。书中所列资料绝大部分为第一次公开发表出版,其中的数据及观点均来源于现场实践与认识,正文综述以编著为主。

第一章由宋彪、梁乃成、姜福聪、陆延平等编著;第二章由王长生、吴丽娜、刘卿等编著;第三章由刘洪涛、邓海成、马洪涛、薛宗浩、史晓莉、张揆等编著;第四章由许洪东、张广伟、朱伟、国郅、王淑红、潘振全等编著;第五章由张玉广、韩军、孙建国等编著;第六章由房宝财、刘洪远、侯君、吴锋等编著。参加本书编著的人员还有董俊杰、刘亚东、王兆刚、刘庆荣、张秀萍、马品

刚、霍银平、刘振生、王常斌、孔祥海等同志。

本书编著过程中得到了徐正顺、计秉玉、王启民、范传闻、潘兴国等领导和专家的关心、支持和帮助,在此表示诚挚的谢意。

由于编写人员水平有限,时间仓促,难免有不足和错误之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2004 年 10 月 10 日

目 录

第一章 窄薄砂体油田油藏地质特征描述	(1)
第一节 油藏构造及沉积相特征	(2)
第二节 储层的物理性质	(8)
第三节 油藏原油储量计算	(11)
第二章 油藏储层描述技术及应用	(19)
第一节 储层描述方法	(19)
第二节 储层微型构造研究的主要内容和方法	(29)
第三节 三维地质建模技术	(32)
第四节 窄薄砂体储层预测方法	(38)
第五节 精细地质研究成果在油田开发中的应用	(51)
第三章 窄薄砂体油田开发动态分析技术	(60)
第一节 水驱动态分析方法	(60)
第二节 动态分析常用图件	(80)
第三节 水驱动态分析方法的应用	(97)
第四章 油田开发综合调整技术	(146)
第一节 常规注水调整技术	(146)
第二节 水驱措施调整挖潜技术	(161)
第三节 井网非均匀二次加密调整及扩边布井技术	(174)
第四节 注采系统调整技术	(188)
第五节 应用数值模拟技术进行油田开发调整	(194)
第六节 套损井区综合调整技术	(208)
第五章 油田开发规划编制及开发指标计算方法	(221)
第一节 开发规划的编制	(221)
第二节 油田综合经济评价方法	(237)
第六章 提高采收率技术	(257)
第一节 提高采收率技术的现状与发展	(257)
第二节 窄薄砂体油田提高采收率方法	(262)
参考文献	(296)

第一章 窄薄砂体油田油藏地质特征描述

油藏描述,就是对油藏进行综合研究和评价。它是以沉积学、构造地质学、储层地质学和石油地质学的理论为指导,综合运用地质、地震、测井和试油试采等信息,最大限度地应用计算机手段,对油藏进行定性、定量描述和评价的一项综合研究的方法和技术。其任务在于阐明油藏的构造面貌,沉积相和微相的类型和展布,储集体的几何形态和大小,储层参数分布,储层的非均质性及其微观特征,油藏内流体性质和分布等,乃至建立油藏地质模型,计算石油储量和进行油藏综合评价。为实现油藏描述的上述任务,应最大限度地使用计算机手段,利用计算机自动绘制反映油藏特征的各种图件,充分揭示油藏在三维空间的变化规律,为进行油藏数学模拟,合理选择开发方案,改善开发效果,提高石油采收率提供充分可靠的依据。

油藏描述分静态描述和动态描述。油藏静态描述主要是研究油田的构造面貌、储层的沉积相和微相、储层微观特征、储层参数空间分布规律、储层非均质性和计算油气地质储量等。而油藏动态描述主要是研究在开发过程中油气藏基本动态参数的变化规律,确定产液剖面 and 吸水剖面,修改和完善对油气藏的静态描述。油藏静态描述是油田研究的基础和先行步骤,而动态描述则是静态描述的完善和发展。

油藏描述的内容或目标往往有很大区别,它因油藏发育的地质背景、油藏勘探开发阶段和各油藏存在的具体问题等不同而有显著区别。研究表明,无论什么类型的油气藏,发育在什么样的地质环境,处于勘探和开发的哪一阶段,其研究和描述的内容,都具有共性,即主要是进行油藏地质研究。油藏地质研究是油藏描述的基础,同时又是它的归宿,故油藏地质研究贯穿在油藏描述的始终。油藏地质研究工作的好坏,会直接影响油藏描述总体水平。油藏地质研究的内容实际上也是其他技术方法所要研究和解决的问题,它应包括:油层组对比和划分、油藏构造特征和构造应力场、储集体沉积相和微相、储层成岩作用和孔隙结构、流体性质与分布规律、储层参数分布规律、储层非均质性和烃类检测、计算储量、油藏地质模型和油藏综合评价等诸方面,其中储层参数分布规律和储层非均质性是油藏描述的核心,油藏地质模型和油藏综合评价是进行油藏描述的最终目的(图 1.1)。

大庆长垣南部油田主要为松辽盆地北部白垩系的大型河流—三角洲沉积体系向南的延伸部分。沉积的砂体主要为三角洲内前缘水下分流河道砂体及河间砂体、外前缘席状砂体及少量的砂坝砂体沉积。油层砂体主要以三角洲内前缘水下分流河道砂体及河间砂体分布为主。平面上单砂体一般由北向南延伸,砂体宽度一般小于 300m,厚度较薄,延伸长度变化较大,单砂体间交叉成网格状分布,砂体间分布数量不等的河间砂体。砂体的单层钻遇率一般在 30%~40% 之间,很少达到 50%。由于该类砂体在平面上分布形态较为复杂,对井网及注采系统的优化程度要求较高,且平面挖潜的难度较大。因此统称储层以该类砂体分布为主体的油藏为窄薄砂体油藏。

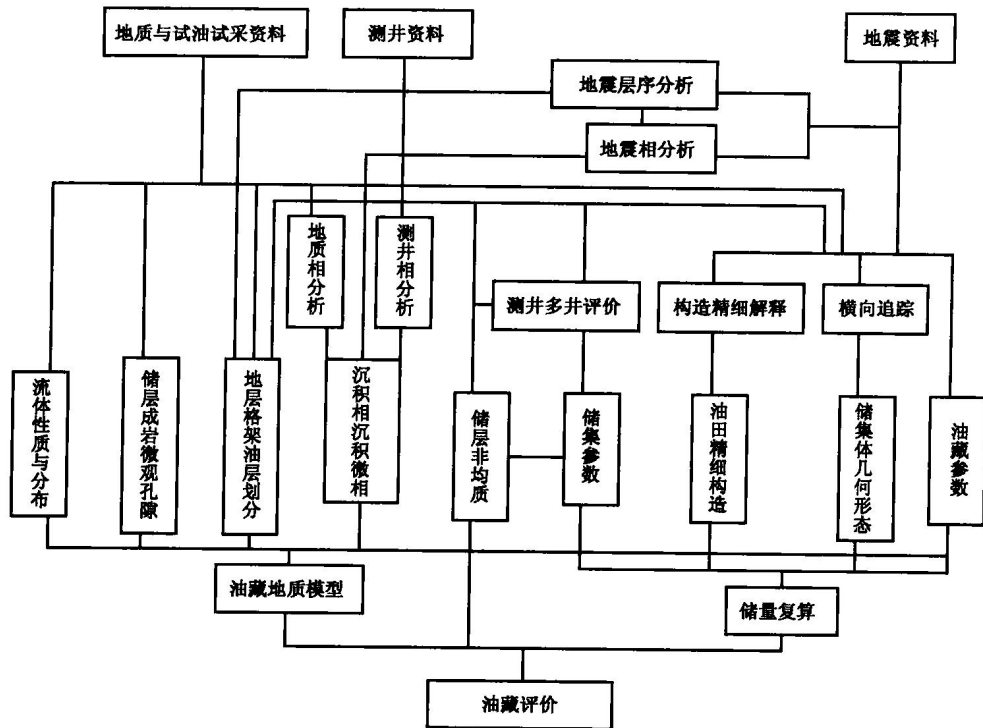


图 1.1 油藏描述流程图

第一节 油藏构造及沉积相特征

一、油藏沉积环境及沉积相特征概述

沉积学(Sedimentology)是20世纪30年代沃尔德(Wadell, 1932)提出的一个术语,它主要是由沉积岩石学(Reservoir Sedimentology)出发以实用角度从沉积学中派生出来的一个分支,沉积学和储层沉积学的基本涵义及主要研究内容是:

(1)沉积学是研究沉积物(岩)和沉积作用的科学,包括研究未成岩和已经成岩的天然沉积物(岩),以及它们在自然环境中沉积作用的过程和机理(Reeding, 1978)。沉积学作为地质科学中的一个分科,它与流体力学和地层古生物学密切相关,与物理学、化学、海洋学、气象学、水文学和土壤学等也有重要联系。由于有关学科的相互交叉和渗透,以及新技术和新方法的应用,通过对现代沉积物的研究(陆上和水下)和实验模拟,沉积学逐渐成为一门具有较强应用基础性质的学科。

(2)储层沉积学是研究油气沉积物(岩)和沉积作用的科学。严格来讲,它主要是研究碎屑岩储层和碳酸盐岩储层形成、演化、分布及其基本特征(成分、结构、构造等)的一门科学,是

沉积学理论与油气勘探开发实践密切结合的结果。一般来讲,石油和天然气生于沉积岩中,也主要储集在沉积岩中,从沉积岩石学、沉积学以及岩相古地理学深化至对各类油气储层形成机理的研究,可以为油气勘探开发提供更多的科学依据,因此,储层沉积学的形成和发展有着重要的实际意义。

近年来,储层沉积学的研究和地质模型的建立已成为国外许多石油公司解释残余油和提高采收率的重点研究课题。目前我国东部相当多的油田已进入高含水阶段,通过建立地质模型(包括沉积模型、成岩模型、地化模型和构造模型),再运用水力学、渗流力学原理和分析技术建立流体模型,才能有效地解释较小范围(或层系)储层的非均质性(刘孟慧等,1990)。

海洋砂质滨岸相沉积模式已有多年研究历史,墨西哥湾加尔沃斯岛障壁岛—潟湖沉积体系作为典型储层沉积模式早已载入史册,对指导世界范围内的油气勘探开发起了重要作用(Friedman,1978;Reinech,1970,1980;赵澄林等,1982,1987,1997),它对我国塔里木盆地及其他地区海相、海陆过渡相储层建模也有重要参考价值。

当前,利用我国一些地区的良好露头条件,对各种沉积体系进行三维研究仍然是一项重要研究课题,大量的露头研究有利于积累建模的地质知识库(Geological Knowledge Base)(裘亦楠,1992)。地下地质研究除依靠地震外,主要是来自录井、岩心和测井的资料,由于资料的局限性和解释的误差,要克服建模中的随机性(Stochastic),就需要借助研究者大量地质知识的积累和野外露头的系统研究。对地质家来说,“野外地质不过时”(Blatt,1972,1980)这一提法是正确的,至今仍有现实意义。故当前国内各石油公司纷纷投资给高等院校开展与地下有一定可比性的精细露头研究,有助于加速建模工作,这项工作也是“稳定东部”、“增储上产”的一项战略措施。不断完善和修正各类沉积体系,编制符合地下实际情况的储集体展布图,是一项没有止境的研究课题(Galloway,1983;Leslie,1992;吴崇筠,1986)。

二、窄薄砂体油藏沉积相特征概述

在 Andrew D. Miall(1985)、Douglas W. Jordan 和 Wayne A. Pryor(1992)对古代河流相储层露头和现代曲流河沉积分级描述思想启发下,依据松辽湖盆北部大型河流—三角洲体系内储层的自然层次性(即多级次旋回性)和密井网测井曲线所能反映出的各种沉积特征和沉积界面,在油田 20 多年来储层细分沉积相研究积累的丰富知识和经验基础上(如对储层沉积环境、沉积模式、砂体成因类型和非均质特征的充分认识,以及利用测井曲线进行储层细分对比和微相识别技术等),通过多年努力,成功地探索出一套适用于大型河流—三角洲沉积非均质体系的窄薄砂体油藏储层精细分级描述方法。

该方法可概括为:在当代沉积学理论指导下,依据油田密井网测井资料所反映的各种沉积特征和沉积界面,以及大型河流—三角洲沉积各类储层特有的沉积规律和沉积模式,采用模式预测描述法,由大到小、由粗到细逐级解剖砂体几何形态和内部建筑结构,精细地建立储层地质模型(含沉积模型和非均质模型),系统描述储层宏观非均质特征的储层精细描述方法。采用这一方法,实现了对油田地下储层复杂非均质体系的精细分级描述,使储层细分沉积相产生

质的飞跃。下面仅以大庆长垣南部油田的黑帝庙、葡萄花、扶余油层的窄薄砂体储层分布特点为例,简单介绍其沉积特征研究结果,具体的研究方法见本书的第二章(图 1.2)。

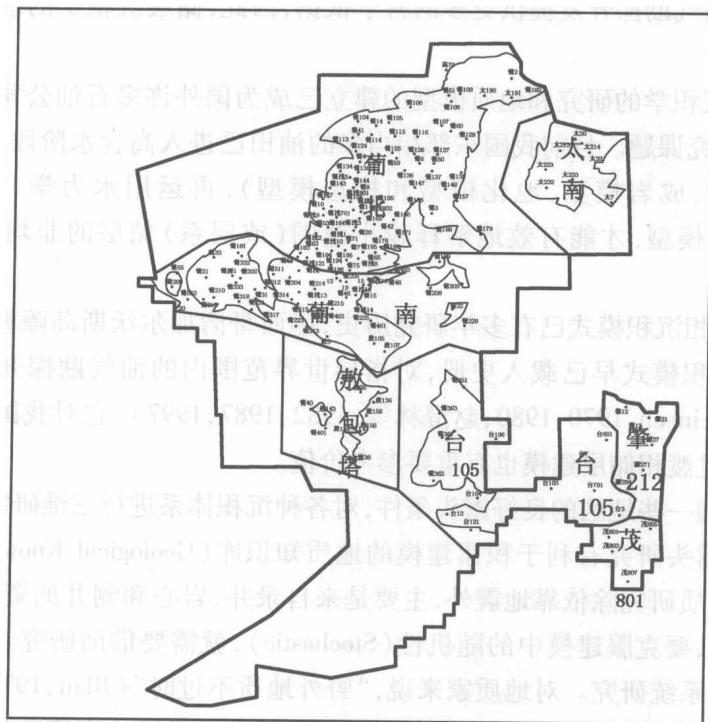


图 1.2 油田平面分布示意图

图 1.2 所示油田所在地层属中生界白垩系,自下而上主要发育有登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组、明水组 7 套层系。辖区内油田地层除四方台组、明水组被剥蚀和登娄库组未钻遇外,其他层系均发育。在泉头组发育扶余油层,在姚家组发育葡萄花油层,在嫩江组发育黑帝庙油层(表 1.1)。

黑帝庙油层为浅湖—滨湖相沉积及滨湖三角洲沉积,砂体平面展布成南北方向的条带状。从本区钻遇黑帝庙油层所有井的岩心资料看,黑 II 组油层在葡萄花油田砂岩厚度较大,单层砂岩厚度大于 10m。

葡萄花油层从北向南属于河流—三角洲沉积体系,油层厚度由北向南逐渐减薄。太平屯、葡萄花及敖包塔油田属大庆长垣上最南端的油田,储层砂体向南延伸至敖 9 区块、永乐油田台肇地区,砂体由水下分流河道逐渐相变为三角洲外前缘席状砂,单层厚度薄且分布稳定。

扶余油层沉积时期古地形趋于平坦,受北部物源控制,为水进式三角洲沉积,发育三角洲前缘亚相和湖泛平原亚相,储层为分流河道沉积砂体、滨浅湖席状砂体、分流河道间砂体等。由于河道的横向迁移摆动,使砂体错叠连片,砂体单层厚度为 1~5m,单井有效厚度在 3~20m 之间。其中头台油田茂 801 区块、葡南油田葡 31 区块厚度较大,单井平均钻遇有效厚度在 12.0m 以上。

表 1.1 窄薄砂体油田地层顺序简表

系	统	组	段	地层 代号	厚度 m	岩 性 简 述	沉积相	接触关系
第四系				Q	70	未成岩,地表黑灰色腐殖土,其下黄色粘土、粉砂,底部为白色砂砾层	河流相	
第三系		泰康组		Rt	90	顶为白色砂砾岩,其下为杂色砂砾岩夹薄层灰色泥岩	河流相	
白 垩 系	上 统	明 水 组	二段	K ₂ m ₂	105~282	紫红灰绿泥岩、粉砂岩与过渡岩性呈不等厚互层	河流相	
			一段	K ₂ m ₁	133	灰绿泥岩、灰色泥质粉砂岩呈两个正旋回	滨浅湖相	
		四方台组		K ₂ s	260	紫红灰绿色泥岩、灰色粉砂岩与过渡岩性呈不等厚互层	河流相	
	下 统	嫩 江 组	五段	K ₁ n ₅	190	紫红、灰绿色泥岩、粉砂岩及其过渡岩	滨浅湖相	
			四段	K ₁ n ₄	280	灰绿色泥岩、粉砂岩与过渡岩性呈不等厚互层	滨浅湖相	
			三段	K ₁ n ₃	90	黑灰色泥岩与棕灰、灰色含水油浸粉砂岩、细砂岩构成三个反旋回	滨浅湖相	
			二段	K ₁ n ₂	220	顶部一层灰色泥质粉砂岩,底为黑褐色油页岩	深湖相	
			一段	K ₁ n ₁	110	黑色泥质夹含介形虫粉砂质泥岩,下部黑褐色油页岩	深湖相	
		姚 家 组	二 三	K ₁ y ₂₊₃	100	大段深灰、灰绿、黑灰色泥岩夹粉砂质泥岩	半深湖相	
			一段	K ₁ y ₁	70	顶为黑色泥岩、粉砂岩,其下深灰、绿灰色泥岩与具含油显示的棕色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩互层	三角洲相	
		青 山 口 组	二 三	K ₁ q _{n2+3}	384	灰黑、深灰色泥岩夹薄层黑色介形虫层	深湖相	
			一段	K ₁ q _{n1}	69	大段灰黑色泥岩夹薄层黑色介形虫层,底部夹三组褐黑色劣质油页岩	深湖相	
		泉 头 组	四段	K ₁ q ₄	100	绿灰色泥岩、粉砂质泥岩与灰色泥质粉砂岩、粉砂岩互层,可见褐黑色含油粉砂岩	河流相	
			三段	K ₁ q ₃	214	绿灰色泥岩、粉砂质泥岩与灰色泥质粉砂岩、粉砂岩互层,可见褐黑色含油粉砂岩	河流相	

三、油藏构造特征及油水分布研究概述

构造地质学是地质学的一门分支学科,其研究对象是地壳或岩石圈的地质构造。所谓地质构造是指组成地壳的岩层和岩体在内、外动力地质作用下发生的变形,从而形成诸如褶皱、

节理、断层、劈理以及其他各种面状和线状构造等。构造地质学主要是研究由内动力地质作用所形成的各种地质构造的形态、产状、规模、形成条件、形成机制,分布和组合规律及其演化历史,并进而探讨产生地质构造的地壳运动的方式、规律和动力来源。

地质构造的规模有大有小,大到成百至数千平方公里乃至全球规模,小的则表现在一定范围的露头上或标本上,更小的甚至需借助显微镜才能观察。因此,对地质构造的观察,可以按规模大小划分为许多级别,称为“构造尺度”。构造尺度的划分是相对的,一般把构造尺度划分为巨、大、中、小、微以至超显微等级别。不同尺度的地质构造有其不同的研究任务和研究方法。野外地质调查,通常是从小尺度或中尺度的地质构造观察研究入手。至于研究大尺度和巨大尺度的区域构造,除了对该范围的各种中、小型构造进行观察研究外,还要对该地区的地层发育情况、沉积岩相和建造特征,岩浆活动、变质作用以及成矿作用等进行综合研究分析,实际上已属大地构造学的研究范畴。

近二三十年来,构造地质学发展迅猛,学科之间相互渗透,新技术方法广泛采用,使构造地质学的研究领域日益扩大和深入。航空、航天遥感技术的应用和地球物理探测方法的发展,对地球构造的研究,已从陆地发展到海洋,从地壳表层深入到深层,将地球作为一个整体来研究,并与宇宙星体进行类比。电子显微镜的应用和实验构造的发展,使人们可以深入研究晶体缺陷,分析微观变形,从而加深了对构造变形机制的了解。

随着地质构造研究的不断深入,人们对从地表到地下深处构造有进一步的了解,认识到地壳或岩石圈不同深度区的变形过程、变形机制和变形产物以及构造特点都是很不同的。因而,引用了 C. E. Wegmann(1935)提出的“构造层次”的概念。构造层次是指在一定变形过程中,由于地壳在不同深度、温度和压力下引起的岩石物性变化,从而形成各具特色的构造分层,或不同构造阶段的构造叠加。一般把地壳或岩石圈划分为浅、中、深构造层次。各层次之间的界限并非等深圈层面,而是常常表现为渐变的过渡带或剪切带。由于构造作用,特别是逆冲断裂的推覆作用,可以将地壳深层或上部地幔的岩石推至地表,因而在地表的构造断裂带中常常可以见到地壳深层和上地幔的岩石零散分布。

在规模不同、类型众多、成因多样的地质构造进行几何学、运动学和动力学的研究时,要兼顾宏观和微观、空间与时间、定性与定量的分析,或者说要对空(空间)、时(时间)、力(外力与应力)、物(岩性和物态)、境(地质背景和环境)等方面进行统一的辩证分析。

在构造地质学研究中,还需与岩石学、地层学、地貌学及地球物理学等学科密切结合。同时,要努力学习和掌握辩证唯物主义思想方法,遵循“实践、认识、再实践、再认识”的辩证唯物主义认识论原则,坚持理论联系实际的学风和严肃认真的科学态度,才能学好、用好这门学科的基本理论和知识,并使之向前发展。

油藏构造特征的研究是建立在大地构造研究的基础之上的。其主要的研究方法是通过重、磁、电法,航空、航天遥感等技术结合沉积相研究方法对沉积盆地的发育规模、类型、充填模式进行研究,初步优选出可能的富含油气的区域进行地震采集、处理及解释工作,然后结合钻井资料对油藏的构造特点进行深入研究。由于这部分的研究内容非本书的研究重点,下面仅以大庆长垣南部油田的构造发育史及特征和油藏类型的研究结果为例进行简要的介绍,以便于读者掌握本书的其他相关的内容。

1. 大庆长垣南部油田构造发育史描述

大庆长垣南部油田的构造发育及特征主要受松辽盆地构造发育控制。松辽盆地构造发育主要经历褶皱剥蚀、断陷沉积、拗陷沉积和回返萎缩 4 个阶段。

泉头组沉积时期,沉降幅度大,沉积地层厚。泉头组沉积末期发生了剧烈的构造运动,整体快速下沉,并伴有大量断层发育。 T_2 层断距大,向上、下断距渐小的断层均是该时期发育的。

青山口沉积时期,全面进入深湖环境,青山口组为一套黑色泥岩,底部发育有三层油页岩,是主力生油气层段。

姚一段沉积时期水体变浅,大致经历了大规模的水退到水进的一个反复。姚一段沉积末期发生了一次较大规模的构造运动, T_2 层断层又开始活跃,并向上发育,该期构造运动还伴生了一些单层单断的小断层。

嫩一、二段沉积时期,全区稳定下沉,沉降和沉积速度差异不大,地层厚度变化较小,构造较平缓,此期沉积了浅层重要的生油岩系。

嫩一、二段沉积以后,盆地进入全面的回返萎缩阶段,开始稳定抬升。嫩三、四段中黑帝庙油层为滨浅湖相砂泥岩互层。

四方台组沉积后期,地层由于整体抬升遭受剥蚀,形成区域削截面,高部位四方台组削蚀殆尽,嫩五段盖层保存不完整。

第三系、第四系盆地快速萎缩,形成现今构造。

2. 构造特征描述

应用长垣南部油田的二维或三维地震的资料,主要针对太平屯、葡萄花及敖包塔油田完成了黑帝庙、葡萄花及扶余油层三套层系的构造拼图工作,对三套层系的构造特征进行了详细研究。在黑帝庙、葡萄花及扶余油层顶面构造图上,油田总体表现为中轴线高两侧低的构造格局,即长垣南部油田位于构造高部位,其他油田构造位置相对较低。

1) 黑帝庙油层

构造平缓,构造形态完整、清晰、继承性强。葡萄花构造向南兼并了敖包塔构造,圈闭线海拔为 -555m,高点 -240m,面积 492.2km^2 ,构造幅度 315m。东北角太平屯构造区内呈宽缓的鼻状,与葡萄花构造以向斜相接。断层不发育,主要集中在葡西鼻状构造上和葡萄花构造的轴部褶皱较强地带。

2) 葡萄花油层

构造形态完整、清晰,有继承性。整体上葡萄花构造为一长轴背斜,南北长 62km,东西宽 18km,面积 468.3km^2 ,断层多以近南北向展布为主,部分呈北东向展布,均为低角度正断层。倾角 $40^\circ \sim 50^\circ$,断距 40 ~ 60m,最大断距为 120m。

3) 扶余油层

以近南北向展布为主,断层发育呈密集条带状。葡萄花构造东侧葡 51 井—葡 351 井一线发育的断层近南北走向呈雁行式排列,多级下掉构成了与中央垒块高差近百米的南北狭长的块垒,东西宽约 2km。葡萄花构造西侧多个断裂发育带相互交汇,敖 106 井—葡 181 井—古 563 井一带断裂控制着葡萄花构造的西边界。该断裂发育带南部断层数量多、密度大、关系复杂,中部延伸长、断距大,北部断层逐渐转向北东。断层断距一般为 20 ~ 70m 左右,最大断距为 114m。

3. 油藏类型描述

大庆长垣南部油田的葡萄花油层油藏基本上为构造油藏。从葡萄花油田由北向南的油层分布规律来看,油藏在长垣南部油田仍然以构造控制为主,但随着油层砂体由北向南发育规模逐渐变差,在长垣南部的葡萄花油田南部、敖包塔油田的周边区块及外围油田大部分区块出现岩性控制的特点。通过对已钻井地区的详细解剖发现,油气分布与油气运移期形成的古构造发育状况密切相关。继承性发育的古构造是油气运移的指向,是油气聚集较丰富的地区,即使是隐蔽油藏,在油气运移期前或油气运移中形成的各种圈闭中,构造仍然在油气藏形成中起主导作用,岩性变化只起次要作用。在油气运移后期,构造发生变动,油气重新分布时,岩性对捕集油气才起主要作用。

扶余油层是在断层配合下形成的大面积岩性和断层—岩性油藏。青山口组生成的石油在超压作用下,沿断层进行垂向、侧向运移至扶余油层,为扶余油层提供了较好的油源。上下断穿各层位的断裂和错叠连片的砂体有机结合在一起,为形成大面积岩性油藏创造了条件。从剖面图上可以看出,该区油层发育程度主要受砂体及储层物性发育程度的控制,物性好的为油层,物性不好的为干层。

葡萄花油层的油水分布基本上受构造控制,但断层使油水分布复杂化,导致局部地区油水分布受岩性影响。油水界面分布的总趋势是:西高东低,南高北低。在平面上,由内向外基本上是纯油区、油水过渡带、纯水区。在纵向上,一般是纯油层、油水同层、水层。个别地区由于岩性圈闭,出现油水互层或油、水层中间无过渡带段。长垣南部油田的油水过渡带面积比较大,而且过渡带分布在各个断块之中,这种油水分布的复杂性,给油田开发带来了一定难度。

第二节 储层的物理性质

一、储层物理性质描述

储层的物理性质主要指储层的岩石结构、构造、颗粒形态以及储层的孔隙度、渗透率、含油饱和度等属性的定性或定量的特征描述。储层的物理性质十分重要,与油藏的储量、油水分布、采收率等密切相关。由于其相关研究内容非本书的重点,因此只介绍大庆长垣南部油田相关油层的物理性质,供读者研读本书主要内容时参考。

葡萄花油层为细粒硬砂质长石砂岩,成分为石英 33% ~ 36%,长石 35% ~ 40%,岩屑含量 15% ~ 22%,粒度中值 0.106mm,分选系数 3.0,泥质含量 13.4%,属于细—粉砂岩,以泥质胶结为主,少量为方解石,胶结类型主要为接触式及孔隙接触式。扫描电镜资料表明,葡萄花油层粘土矿物以高岭石为主,含量 26% ~ 68%,其次为伊利石,含量 26% ~ 48%。粘土矿物空间分布有质点式、内衬式、接触式和桥塞式,岩石颗粒表面溶蚀孔发育。油层有效孔隙度 19.8% ~ 24.4%,平均 22.2%,有效渗透率平均 $93 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属中孔、中渗透油层(表 1.2)。

表 1.2 葡萄花油层有效孔隙度、有效渗透率、含油饱和度数据表

项 目		层 位	有效孔隙度 %	有效渗透率 $10^{-3} \mu\text{m}^2$	含油饱和度 %
油 田					
葡萄花油田	北部	P	21.3 ~ 24.4	103	42.4 ~ 66.9
	南部	P	21.2 ~ 24.3	46	44.3 ~ 65.1
太平屯油田南部		P	21.9 ~ 23.8	130	47.8 ~ 65.4
敖包塔油田		P	23.0	36(空气)	62
永乐油田	台 105 地区	P	20.1	36.81(空气)	55
	肇 212 地区	P	19.8	74.2(空气)	55

扶余油层砂岩碎屑成分中含石英 18% ~ 27%, 长石 24% ~ 35%, 岩屑含量 28% ~ 42%, 粒度中值 0.03 ~ 0.25mm, 泥质含量 7% ~ 20%, 多属含泥长石岩屑粉砂—细砂岩, 以泥质胶结为主, 胶结类型主要为孔隙—薄膜或再生。根据扫描电镜及 X 衍射资料, 扶余油层粘土矿物以伊利石为主, 相对含量 60% 左右, 其次为绿泥石, 相对含量 30% 左右。颗粒表面及粒间生长发丝状伊利石, 一些粒间孔隙充填绿泥石。伊利石和绿泥石充填孔隙使孔喉变差, 孔隙中次生石英较发育, 反映该地区扶余油层成岩作用较强, 储层空间以缩小的原生粒间孔、残余粒间孔为主, 导致储层物性较差。扶余油层有效孔隙度 11.2% ~ 12.0%, 平均 11.6%, 空气渗透率平均 $1.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属低孔、特低渗透油层(表 1.3)。

表 1.3 长垣南部油田扶余油层有效孔隙度、有效渗透率、含油饱和度数据表

项 目		层 位	有效孔隙度 %	空气渗透率 $10^{-3} \mu\text{m}^2$	含油饱和度 %
油 田	永乐油田台肇地区	F	11.3	0.75	55
	永乐油田葡 47 区块	F	11.8	1.00	55
	葡南油田葡 31 区块	F	12.0	1.35	57
	头台油田茂 801 区块	F	11.2	1.20	-

二、油藏压力系统

油藏压力系统是指在油气田的垂直方向或水平方向上, 流体压力能互相传递和相互影响的范围, 又称为水动力系统, 油藏压力对油田开发有着巨大的意义, 其资料是动态分析和控制开发过程不可缺少的。大庆长垣南部油田葡萄花油层平均原始地层压力为 12.6 MPa, 压力系数在 1.0 左右, 属正常压力系统。扶余油层压力在 15.88 ~ 22.91 MPa, 压力系数在 1.00 ~ 1.28 之间, 平均为 1.17, 属正常压力系统(表 1.4)。

表 1.4 大庆长垣南部各油田原始地层压力数据表

区 块	葡北 MPa	葡南 MPa	太南 MPa	敖包塔 MPa	台 105 MPa	肇 212 MPa	茂 801 MPa
层 位							
葡萄花油层	10.8	11.5	11.4	13.0	14.0	15.0	-
扶余油层	-	19.4	-	-	-	-	-

三、油藏地层温度

油藏的温度与其埋深和地温梯度有关,主要由评价井的实际测试资料来确定。地温梯度在大多数的沉积岩中通常是每 100m 增加 3℃,长垣南部油田葡萄花油层的地温梯度达到了 4.5℃/100m 左右,属于正常地温梯度油藏。

葡南油田扶余油层有 18 口井测得了地层温度,测量深度在 1484.2 ~ 1890.1m 之间,地层温度为 85.6 ~ 96.7℃,平均地温梯度 5.32℃/100m,属较高地温梯度,则温度与深度关系为:

$$T = 0.0266H + 46.604 \quad (R = 0.98) \quad (1.1)$$

式中 T ——地层温度,℃;

H ——测试深度, m;

R ——相关系数。

四、油藏储层流体性质

油藏储层流体性质是指储集层内的流体相对密度、粘度、含胶量及饱和压力,地饱压差、溶解系数、离子含量等物理性质。针对不同储层流体性质,在油田开发时需采取不同对策。

根据葡萄花及扶余油层油田水资料分析,葡萄花油层 Cl^- 含量平均为 3838mg/L,总矿化度平均为 10224mg/L, pH 值平均为 7.6,水型为 NaHCO_3 型。扶余油层 Cl^- 含量 1912.2 ~ 2902.1 mg/L,平均 2407.2 mg/L,总矿化度 5436.8 ~ 6129.2mg/L,平均 5783.0mg/L, pH 值 7.7 ~ 8.4,平均 8.1,水型为 NaHCO_3 型(表 1.5,表 1.6)。

表 1.5 葡萄花油层水性质数据表

项 目 油 田	Cl^- 含量 mg/L	总矿化度 mg/L	水型	pH 值
太平屯油田南部	3296.6	8683.5	NaHCO_3	7.0
葡萄花油田北部	2600.7	8230.2	NaHCO_3	7.9
葡萄花油田南部	3169.1	9157.0	NaHCO_3	8.4
敖包塔油田	4396.7	11540.6	NaHCO_3	8.0
台 105 地区	4977.9	12508.1	NaHCO_3	7.2
肇 212 地区	4587.0	11223.0	NaHCO_3	7.2

表 1.6 扶余油层水性质数据表

项 目 油 田	Cl^- 含量 mg/L	总矿化度 mg/L	水型	pH 值
葡 31 区块	1912.2	5436.8	NaHCO_3	7.7
台 105 区块	—	—	—	—
肇 212 区块	—	—	—	—
茂 801 区块	2902.1	6129.2	NaHCO_3	8.4