

精细油藏描述 与地质建模技术

贾爱林◎著

石油工业出版社

精细油藏描述与地质 建模技术

贾爱林 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书论述了成熟油气田精细油藏描述和地质建模技术。内容主要包括:精细油藏描述技术与发展现状、储层精细研究的理论基础和研究方法、储层精细划分与对比、储层非均质性描述、随机模拟、建立原型模型、集成多种地质信息建立精细油藏地质模型及剩余油分布描述。

本书适于从事油藏描述及提高油气采收率的专业研究人员、工程技术人员和相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

精细油藏描述与地质建模技术/贾爱林著.

北京:石油工业出版社,2010.1

ISBN 978-7-5021-7566-5

I. 精…

II. 贾…

III. ①油藏描述

②石油天然气地质—建立模型

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 230455 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)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:13

字数:330 千字 印数:1—2000 册

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

前言

在20多年的科研生产与教学工作中，笔者一直积极学习和借鉴前人的研究方法与经验，从一个油田开发领域的初学者成长为一名开发工程师。随着油田开发技术和油藏描述方法的发展，面对每一个工作对象，笔者一直不断地寻求和研究利用新的技术与方法，力争对地下地质体的认识尽量客观真实，使所采取的开发对策尽量经济高效，这是笔者从事生产实践与科研工作的一条准则，也是确保最终制定好开发政策的重要前提。为了客观准确地认识地下地质体，制定好合理的开发政策，准确精细的油藏描述成为必须认真做好的一项核心工作，如何刻画与描述储层的各种非均质性是其主要内容之一。

众所周知，我们面对的研究对象千差万别，所处的开发阶段各不相同，从油气田开发早期以概念设计为主要内容的油藏描述到高含水后期以剩余油挖潜为目的的油藏描述，研究内容、目标和技术方法都不尽相同，因此，针对不同的研究对象和不同的开发阶段，必须采取有针对性的技术和研究方法才能取得较好的效果。

最近十年来，笔者在从事生产科研工作的同时，还为油气勘探开发专业的研究生进行“油藏描述与地质建模”的教学工作，所选用的教材零零散散，一直缺少一种以开

发对象为目标,以开发技术为手段,以开发理论为指导的教材。鉴于这种情况,作者从2003年开始了本书的编写工作,时光飞逝,转眼6年时间已经过去,其间虽几易其稿,不断补充完善,但书中仍有不甚满意的地方。值此付梓之际,希望本书能给各位专家学者作为引玉之砖,能为研究生提供一本较为适用的教材。不足之处,望不吝赐教。

本书介绍了油气田不同开发阶段的油藏描述与地质建模等内容,全书共八章,从回顾油藏描述的发展历史开始,到剩余油分布描述结束。本书在参阅大量文献与前人研究成果的基础上,结合笔者的生产科研和教学经验,着重介绍如何解决具体的现场实际问题。本书引入了部分本人参加的攻关项目的研究成果和实例,从最早的丘陵油田油藏描述与开发方案,到塔中4、和哈、克拉2、陆梁、东涵、两井等油田的研究项目,一直到近几年的茅乌格和经家河的部分实例及其总结。在此期间,笔者用近10年的时间进行了我国扇三角洲与辫状河两个野外露头的精细研究和描述工作,其部分成果也纳入了本书的内容,在此,衷心感谢所有和本人一起参加上述研究工作的人员。

在本书的编写过程中,多次与裴峰楠、尚敬修老师讨论了章节安排;向顾家裕、吴胜和教授请教了一些地质学的准确定义;向张昌民、张春生教授请教了沉积体系物理模拟问题;向沈平平、董慕尧、何顺利、张明禄教授请教了油藏

描述的适用性问题；向文朝亮、潘兴国教授请教了油藏描述的技术流程问题，在此一并表示感谢。同时还要感谢何东博、郭建林、程立华同志，他们参与了本书部分内容讨论与文字修改工作，并清绘了部分图件。最后再次感谢若干年与笔者一起参加各项研究工作的同事，以及为本书的编写与出版给予帮助的人们。

目 录

第一章 精细油藏描述技术与发展现状	(1)
第一节 概述	(1)
一、油藏描述的历史任务	(1)
二、开展精细油藏描述的必要性	(1)
三、油藏描述阶段的划分及主要任务	(2)
四、精细油藏描述的含义	(4)
五、精细油藏描述的主要特点	(4)
六、精细油藏描述研究的内容	(5)
第二节 精细油藏描述主体技术的发展现状	(9)
一、地质研究的精细化和定量化	(9)
二、测井技术在储层描述中的作用日益明显	(11)
三、开发地震研究的精细化使储层的精细预测成为可能	(13)
四、高分辨率层序地层学分析方法得到了应用	(14)
五、不同类型沉积体系储层原型模型和地质知识库的建立	(14)
六、地质统计学和随机模拟技术的应用与发展	(15)
七、我国主要类型油田的油藏描述特色	(18)
第三节 精细油藏描述的发展方向	(20)
一、国内外油藏描述技术水平对比	(20)
二、精细油藏描述面临的挑战	(21)
三、精细油藏描述的发展方向	(21)
第二章 储层精细研究的理论基础和研究方法	(23)
第一节 沉积体系和层次界面分析法	(24)
一、沉积体系分析法	(24)
二、层次界面分析法	(26)
第二节 层次界面与结构单元研究方法	(29)
一、概念	(29)
二、构成规模和界面	(29)
三、河流体系中的界面分级系统	(30)
四、构成单位及其分级系统	(33)
第三章 储层精细划分与对比技术	(36)
第一节 “旋回对比,分级控制”的储层对比技术方法	(36)
一、油气层层组划分	(36)
二、油气层对比	(38)
第二节 高分辨率层序地层学分析技术	(41)
一、高分辨率层序地层学的理论基础	(41)

二、高分辨率层序地层学的应用方法	(45)
三、高分辨率层序地层划分与对比实例	(52)
第四章 储层非均质性描述技术	(60)
第一节 储层非均质性的分类	(60)
一、佩蒂庄(Pettijohn,1973)分类	(60)
二、威伯(Weber,1986)分类	(60)
三、裘怿楠(1992)分类	(62)
第二节 储层非均质性研究技术	(62)
一、宏观非均质性	(62)
二、微观非均质性	(69)
第三节 储层非均质性对注水油田开发的影响	(78)
一、层间差异	(78)
二、平面差异	(79)
三、层内差异	(81)
四、微观非均质性对石油采收率的影响	(85)
第五章 随机模拟技术	(89)
第一节 克里金估计	(89)
一、概述	(89)
二、基本原理	(89)
三、克里金基本方法介绍	(98)
四、克里金估值法的应用	(101)
第二节 随机模拟	(102)
一、随机模拟概述	(102)
二、随机模拟原理	(103)
三、随机模拟算法	(104)
第六章 储层原型模型技术	(114)
第一节 储层原型模型	(114)
一、概述	(114)
二、建立原型模型的方法	(114)
第二节 利用地质露头资料建立储层原型模型	(116)
一、储层露头选型标准	(116)
二、露头储层层次界面划分和隔夹层分布特征	(117)
三、滦平扇三角洲露头原型模型和地质知识库建立	(118)
第三节 密井网储层精细描述及原型模型建立	(126)
一、密井网解剖区选择	(126)
二、成熟油田密井网条件下相控建模研究	(127)
三、低弯度分流河道砂体的地质知识库	(130)
第四节 沉积模拟实验研究原型模型的储层沉积过程	(133)
一、滦平扇三角洲沉积模拟地质知识库	(133)
二、实验模拟砂体与野外露头实际原型砂体对比	(136)

三、扇三角洲模拟沉积的规律性	(139)
四、应用沉积模拟成果指导同类储层砂体的预测	(142)
第七章 集成多种地质信息建立精细油藏地质模型	(146)
第一节 储层地质模型分类	(146)
一、概念模型	(146)
二、静态模型	(147)
三、预测模型	(147)
第二节 油藏地质模型建立方法	(148)
一、确定性建模方法	(148)
二、随机建模方法	(150)
第三节 建立精细油藏地质模型的技术	(150)
一、建立一维单井地质模型技术	(151)
二、建立二维地质模型技术	(153)
三、建立三维参数地质模型技术	(156)
第四节 集成多种地质信息建立精细油藏地质模型	(157)
一、结合地震、露头、地质知识库与密井网资料建立精细油藏地质模型	(158)
二、水驱历史拟合验证模型	(164)
第八章 剩余油分布描述技术	(173)
第一节 剩余油形成机理及其控制因素	(173)
一、微观剩余油形成机理及控制因素	(173)
二、宏观剩余油形成机制及控制因素	(175)
第二节 剩余油分布特征	(177)
一、剩余油微观分布特征	(177)
二、剩余油剖面分布特征	(179)
三、剩余油层内分布特征	(181)
四、剩余油平面分布特征	(184)
第三节 剩余油分布模式	(185)
一、宏观剩余油分布模式	(185)
二、微观剩余油分布模式	(188)
第四节 剩余油研究方法	(189)
一、地质综合分析预测剩余油分布	(189)
二、生产测井分析法	(190)
三、水淹层测井	(191)
四、检查井密闭取心法	(193)
五、油藏数值模拟法	(193)
六、油藏工程综合分析法	(194)
参考文献	(195)

第一章 精细油藏描述技术与发展现状

第一节 概 述

精细油藏描述是全球油田开发领域中的一项关键技术。自 20 世纪 80 年代以来,集中地质、地球物理和油藏工程等多学科、多专业力量综合攻关,取得了突出的进展。

一、油藏描述的历史任务

油藏描述本身是一个动态的过程,是针对油田所处勘探开发的不同阶段,充分利用现有的油藏静态、动态资料,对油藏类型、构造特征、储层特征和流体特征等做出当前阶段的认识和评价,建立三维地质模型,为油田开发提供可靠的地质依据。

油田开发工作包括认识油藏和改造油藏两大部分,在搞清油藏地下情况的基础上,决定开发战略,确定开发技术措施,优化开发方法,以最少的人力、财力投入,从油藏开发中获得最大的经济效益和石油采收率。认识油藏和改造油藏是贯穿于油田开发全过程的两个核心内容,而前者是基础。所以油藏描述作为油田开发的一项基础工作,一直是石油科技中受到高度重视的一个重要课题。随着石油工业的发展,石油开发的深入,油藏描述技术一直在不断地发展提高。

随着油气田勘探开发工作不断深入,新油气田的发现和成熟油田开发难度也日益加大。已投入开发的含油气盆地的勘探开发成熟度很高,早年多发现整装构造油气藏,现在逐步转向构造岩性和断块岩性为主的隐蔽性油气藏。这意味着勘探新领域转向了自然经济和地质条件比较复杂的边远地区、海上、政治高风险区域,勘探成本大幅度上升;而同时已开发的老油田通过深入认识储层的非均质性,依靠现有的二次采油技术,还有大约 19% 的储量潜力可供挖掘动用。因此挖掘这部分老油田潜力,引起了人们更大的重视。

20 世纪 80 年代以来,世界上油藏描述的动向可以用“精细油藏描述”来形象化地概括。“精”就是要提高定量化和精确度;“细”就是描述内容和尺寸越来越细,也就是分辨率要求越来越高。西方在术语上也有所改变,近年来逐渐以“油藏表征”(Reservoir Characterization)来代替原来的“油藏描述”(Reservoir Description),其内涵就是反映了这一动向。在新技术和新方法的推动下,油藏描述开始了由定性到定量、由宏观向微观、由单一学科向多学科综合发展的历程。

我国的油田开发形势也和世界主要产油国完全相似,进一步挖掘已开发的主力油田的潜力,提高采收率,是当前的重要内容。注水开发是我国油田的主要开采方式,这些主力油田几乎都已进入高含水期,精细油藏描述就是为了搞清目前高含水条件下油藏内剩余油的分布形式发展起来的。

二、开展精细油藏描述的必要性

针对我国成熟油田开发为从部分高含水进入全面高含水、高采出程度,从储采基本平衡向严重不平衡过渡的严峻形势,以及中国陆相储层的复杂性,迫使我们必须对储层进行更加全面的深入研究。注水油田开发进入高含水期以后,油水分布情况发生了巨大变化。油层内剩余油分布呈现出高度分散、局部相对集中的特点,剩余油多分布在差、薄、边部位,开采难度增大,这主要是由于储层的非均质性及复杂的构造因素所造成的。因此,为了搞清高含水期老油田

地下剩余油的分布规律和进一步提高滚动勘探开发工作水平,需要更加精细的油藏描述,并预测井间砂体及各种油藏参数的分布规律,建立一个精细的三维定量地质模型,用于研究剩余油饱和度分布。

由于大量剩余油滞留于地下,导致油田采收率难以得到明显的提高,主要原因是我们对储层非均质性的真实面貌认识不清,而储层非均质性是影响采收率的主要因素之一。通过提高储层非均质性对采收率影响的认识程度,开展储层定量化研究,借助新一代大型计算机或并行计算机可以对精细的储层地质模型进行流体模拟。

在当前国内外油田开发中,对于连续性较好、厚度较大、渗透率较高的储层,其开发技术已经基本得到解决。到了油田开发中后期,重点关心的低孔低渗带、隔夹层、微构造和低级序断层及岩石物性的非均质性问题,是我国大部分油田目前面临的主要问题,也是世界性的攻关难题。

三、油藏描述阶段的划分及主要任务

一个油田从发现到废弃,油田开发工作要经历认识、实践、再认识、再实践的多次反复。实施各种开发措施,用多种开发手段加深对油藏的认识;在逐步认识油藏的基础上,进一步调整开发措施,在油田开发过程中逐步深化。由于每个阶段具有的地质资料基础不同,要完成的开发地质任务也不同,因而在储层评价的重点内容也有差异,所要达到的目标也就不一样。

油田开发阶段的划分,国内外基本做法大同小异。一般来说油田发现后,可分为油藏评价阶段、开发初期阶段和开发中后期阶段,三个阶段对应的油藏描述任务和目标各不相同。

(一)油藏评价阶段油藏描述

油藏评价阶段油藏描述是指从油田发现到整体开发前这一阶段的油藏研究工作。在此阶段,油藏描述的主要任务是利用少数探井或评价井资料,以及地震资料等信息,进行油藏描述和评价,提交评价区的探明地质储量和预测可采储量,为部署评价井和优化开发方案设计提供依据,保证开发可行性研究和开发方案的正确性。

这一阶段的油藏描述是为了建立地质概念模型,即将油藏各种地质特征典型化、概念化、抽象成具有代表性的地质模型。要求对储集层地质特征的描述基本符合实际,而不过分追求具体细节,重点是研究储集层的基本格架;然后赋予它各种地质属性的量值,用于表征储集层非均质在三维空间的分布,并确定油藏类型,为数值模拟提供地质依据。

(二)开发初期阶段油藏描述

开发初期阶段油藏描述是在油田正式开发方案实施后,开发井网(或基础井网)全部完钻的新增资料基础上进行的油藏描述。此时获得了大批的井孔静态资料和岩心分析数据,为测井解释打下了基础。这一阶段油藏描述的任务是依赖油井资料,获取开发地质特征参数;参考三维地震资料,进行油藏地质再认识,修改油田构造形态及断层分布;搞清油气富集规律;提交储量复算成果。油藏描述的最终目的是建立储层地质静态模型。

储层地质静态模型是针对某一具体油田的一个储集层,将其地质特征在三维空间的变化和分布如实地进行描述,并不追求控制点之间的预测精度。此模型为油田开发实施方案,油田开发动态分析和作业施工、配产配注方案和局部调整方案服务。

(三)开发中后期阶段油藏描述

开发中后期阶段油藏描述是指油田从主体开发阶段到进入高采出程度和高含水的“双高”阶段。在这一阶段所进行的油藏描述,称为中后期阶段油藏描述。油田进入中高含水期开采以后,地下水分布发生极大的变化,开采挖潜的主要对象是分散而又局部相对富集的剩余油。原先的油藏描述方法和精度,远不能满足这个阶段的开发需要,它要求更精细、准确、定

量的预测出井间各种砂体内部流动单元的非均质及其三维空间的分布规律,因此,属于精细油藏描述的范畴。

精细油藏描述的目的是,主要结合油藏工程的生产动态分析、数值模拟历史拟合量化剩余油空间分布,为油田制定挖潜、提高采收率的措施提供依据。这一阶段油藏描述的重点是开展微构造研究、流动单元划分以及小尺度的井间参数预测,即建立精细的三维地质预测模型。

总而言之,每个开发阶段,开发地质的任务是充分利用本阶段所取得的油藏资料信息,对油藏开发地质特征作出现阶段的认识和评价,目的是为后一阶段采取什么样的开发措施提供地质依据。开发阶段工作的成败,则用后一阶段所实施的开发措施结果的成败来检验。当然,开发措施的成败不单是取决于所依据的对油藏地质特征认识的正确程度,还受措施本身是否得当的限制。通过后一阶段的开发实施所增加一定数量的油藏资料信息,加深了对油藏地质特征的认识,正是检验前一阶段开发地质工作成败的标准。前一阶段对一些关键油藏地质特征作出的判断和预测,与后一阶段实践后的认识符合程度愈高,说明前一阶段油藏描述工作成功率愈高。

不同开发阶段的油藏描述虽有其共同之处,但也有着很大的差别,主要表现在所拥有基础资料信息的质量、数量以及对油气藏所能控制的程度不同,所要解决的开发问题、描述重点等明显不同(见表1—1)。

表 1—1 不同阶段油藏描述的任务、内容、技术方法

阶段	研究任务	描述内容	技术方法
油藏评价阶段	提交评价区探明地质储量和预测可采储量; 从技术和经济上对油气藏是否开发作出可行性评价; 预测可能达到的生产规模; 提出钻、采、地面工程工程的轮廓设计	油藏的主要圈闭条件及圈闭形态、产状; 重点研究储集层的基本格架; 开展沉积亚相分析; 预测储层特别是主力储层的宏观分布规律; 宏观油水系统划分及其控制条件; 油气性质和油藏; 建立储层地质概念模型	以三维地震技术为主; 沉积相分析技术主要把握大相和亚相的划分,建立沉积亚相相模式; 以砂组为单元的层组划分与对比技术; 储层测井“四性”关系研究技术; 开展储层横向预测技术; 储层非均质性描述技术; 储层综合评价及分类技术; 建立储层地质概念模型技术
开发初期阶段	钻好开发井,取全取准油田静态参数、动态数据; 油藏地质再认识,修改构造形态; 落实断块,提交储量复算成果,计算可采储量; 油田正常生产管理,进行动态监测,开发分析; 编制有关层系、井网等综合调整方案,并组织实施	落实地质储量及可采储量; 确定构造形态及油气水分布; 全油田小层划分与对比; 搞清油气富集分布规律; 建立储层静态模型	以钻井资料为主结合三维地震资料为基础的构造解释技术; 以小层为单元的储层划分与对比技术; 沉积微相分析技术; 以测井资料为基础的多井储层评价技术; 动态监测、跟踪模拟技术; 建立储层静态模型技术
开发中后期阶段	结合油藏工程的生产动态分析、数值模拟、历史拟合,量化剩余油空间分布; 确定挖潜、提高采收率措施; 维持油田经济有效地生产	精细沉积微相和微构造研究; 流动单元划分与对比; 井间参数预测; 剩余油空间分布; 建立储层预测地质模型	微构造研究技术; 细分沉积微相研究技术; 层次结构及流动单元空间结构研究技术; 储层物性动态变化、空间分布规律研究技术; 剩余油分布描述技术; 建立储层预测模型技术

四、精细油藏描述的含义

精细油藏描述是指油气藏投入开发,直到进入高采出程度、高含水期后,为正确评价和合理开发油气藏,对其开发地质特征和剩余油分布所进行的全面精细描述的综合技术。描述的目的在于建立精细的三维地质预测模型和量化剩余油空间分布,为油田开发综合调整、提高采收率提供地质依据。

油气藏开发地质特征概括起来可分九大方面:

- ①储层构造形态、倾角,断层分布及其密封性,裂缝发育程度;
- ②储集层的岩性、岩石结构、几何形态、连续性,储油能力和渗流能力的空间变化,即储层各项属性的非均质性;
- ③隔层的岩性、厚度及空间变化;
- ④储层内油、气、水的分布及相互关系;
- ⑤油、气、水物理化学性质及其在油田内的变化;
- ⑥油气藏的压力、温度场;
- ⑦水体大小,天然驱动方式及能量;
- ⑧石油储量;
- ⑨与钻井、开采、集输工艺有关的其他地质问题。

上述内容是控制和影响油气藏内流体储存和流动的主要因素,从而影响开发过程中各种油气藏地质属性的变化。精细油藏描述以研究油气藏开发地质特征、表征储集层非均质性为核心,最终目的是建立油气藏三维地质模型,为油气藏管理服务。

完善的精细油藏描述过程应包括描述→解释→预测,即不仅要对油气藏开发地质特征进行全面精细描述,还要对这些地质现象的成因和规律做出解释,并对一些深层次的地质问题做出预测。

五、精细油藏描述的主要特点

考虑到能获得的资料情况和确定剩余油分布的要求,开发中后期储层精细研究或精细油藏描述应该具有以下特点。

(一)精细程度高

要表现出构造幅度 $\geq 5\text{m}$ 的微构造,断距 $\geq 5\text{m}$ 、长度 $< 100\text{m}$ 的低级序断层。建立的三维地质模型网格精度至少在 $100\text{m} \times 100\text{m} \times 0.2\text{m}$ 以内。之所以要求达到这样的精细程度,有以下几点依据:①目前3D地震资料和新的解释技术可以解释出 $10 \sim 20\text{m}$,甚至更小断距的断层;②井网井距达到 $200 \sim 300\text{m}$,通过测井曲线对比、动态测试(如试井、示踪剂测试),可以确定断距小于 10m 的断层;③小井距井网的(同井场井、密井网试验区等)井距一般在 $50 \sim 100\text{m}$ 之间;④测井解释的分辨率可达到 0.2m ,能分辨出 0.2m 的隔夹层。

(二)基本单元小

储层精细研究的基本单位由原来的小层、单砂体细化到单砂体的内部结构和非均质性。多年来,小层和单砂体是开发地质研究的最小和最基本单位,并由此形成了一套小层划分、对比、油藏描述以及沉积相分析的方法和技术。然而东部油田的现状表明,既要清楚每一个砂体在空间上的分布规律,又要深入了解每一个油砂体的内部结构,指出剩余油分布所在,因此必须对单砂体及其内部结构进行研究,建立单砂体结构模型。例如对于曲流河砂体,单一点坝砂体识别及其内部侧积体三维模型的建立是目前研究的重点。

(三) 与动态结合紧密

储层精细研究不是一个单一的地质静态描述,而必须与油田生产动态资料紧密结合,用动态的历史拟合修正静态的地质模型。

(四) 预测性强

能比较准确地预测井间砂体、物性的空间分布,预测各种夹层和断裂以及流体的空间分布等。

(五) 计算机化程度高

小层对比和沉积微相划分人机联作,效率高;有完整的储层研究综合数据库(包括储层骨架模型参数库、储层属性参数库、地质统计参数库以及地震参数数据库等);地质、地震、测井、动态数据及建模一体化、系统化、计算机化。

六、精细油藏描述研究的内容

精细油藏描述主要针对油气田开发后期,其目的是挖潜剩余油气资源,提高采收率,因此对储层研究的定量化和精细化程度很高,涉及的研究内容主要包括以下几个方面。

(一) 精细地层划分对比研究

地层划分与对比是地质工作的基础,也是油藏描述最基础的工作之一,其目的是建立地层格架、明确地层接触关系、了解地层纵横向变化、确定油田范围内统一的地层划分与对比方案。地层划分与对比的精细程度决定了油藏描述的精细程度。对一个地区或油气田而言,大的地层界限一般不难划分也较容易对比,但砂层组、时间单元等更小级别的地层的划分与对比常较为困难,因此地层精细划分与对比是油藏描述的首要研究内容。一般划分与对比的总体思路是从岩心资料入手,建立储集体岩石特征与测井曲线特征之间的对应关系,结合地震、钻井及生产测试等多方面的资料,在沉积理论和沉积模式的指导下,根据测井曲线特征,按照不同的地层划分与对比模式,精细划分对比每口井不同级序地层单元界限。

(二) 精细构造描述

精细构造描述包括两方面的内容,即断层描述和层面构造描述,要求对低级序断层和微幅度构造进行描述。目前主要以密井网资料为基础,用传统地质精细解剖方法以及用三维地震资料精细解释对微构造进行研究。

微构造系指单砂体顶、底界面及其内部的各种隔挡层以及断距小于 5.0m 的断层的构造,构造幅度一般 $\geq 5\text{m}$,等高线 $\leq 5\text{m}$;断层断距 $\geq 5\text{m}$,断层长度 $> 100\text{m}$ 。储层微型构造显示油藏总体构造背景上储层自身的细微起伏变化,幅度和范围都很小,是原始沉积环境、差异压实和构造运动共同作用的结果,一般在常规构造图幅的大层段、大等高距下难以发现。

李兴国(2002)指出,微型构造的成因有两类:一类与构造作用力无关,主要是由于砂体沉积前的下切作用、差异压实作用和沉积古地形的影响等形成的微型构造;另一类与构造作用有关,是由于下降盘不同部位的下降速度不等造成的,常常沿断层两侧伴生小的微断鼻或断凹槽,下降较慢的部分产生上凸,而上升盘则因受不均衡拖拽作用,拖拽力强处下凹,弱处相对上凸。第一类成因的微型构造规模和幅度较小,而第二类成因的微型构造规模和幅度较大,对采油井生产有很大影响。

研究微构造的重要性主要表现在:①微型构造高部位油井的生产能力明显高于低部位油井的生产能力,一般来说,高部位油井的生产能力相当于低部位油井生产能力的 2~4 倍;②对处于微构造高部位且油层发育条件较好的注入井,提高注入浓度,同时下调配注量,对处于微构造低部位的注入井,上调配注量,这样既增加了聚合物的浓度、提高了纵向上的调剖效果,又

使向上的驱油效果得到改善,取得不同程度的增油降水效果,说明通过不同微构造位置的注入井采取不同的调整方法可以减缓平面矛盾,有效地改善井组聚驱效果;③上驱比例系数(在一个井组内以一口采出井各个层的上驱和下驱的方向数分别除以总的方向数,称之为上(下)驱比例系数)相对较高的正向微构造区的油井易形成高效井;④微构造与沉积微相结合控制油水运动规律,在微幅度构造变化较大的地区,储层内油水运动受沉积微相与微构造的共同控制,构造变化幅度较大,其对油水运动的控制作用明显,而在构造平缓地区,油水运动受沉积微相控制;⑤微构造高部位剩余饱和度相对较高,水淹级别低;⑥正向微构造高部位采出井进行压裂改造效果明显。

(三)精细沉积微相研究

为稳定油气产量和增储上产,寻找未发现储层和剩余油是两个重要途径,正确划分沉积微相是研究剩余油的基础。在新理论和新方法及计算机技术的应用,使细分沉积微相研究有了长足的发展。

细分沉积微相,即在纵向上细分到时间单元,平面上细分沉积微相。在密井网条件下,把空间上很复杂的河流相砂体(如多期河流沉积多次叠复而成的主力油层)纵向上细分到单一河道单元,使之基本上相当于单一水动力单元。平面上细分沉积微相,建立起识别各种微相标志,可以准确地区分出大型河道砂、小型河道砂、废弃河道砂、决口河道砂、河间薄层砂、河间淤泥等微相。然后按照河流沉积规律,在密井网控制下,预测性地勾绘沉积成因单元的河道砂体边界,确定单一河道砂体内部的厚度(按1m等间距成图)和相应渗透率的平面变化,打破过去按井距之半和井间线性内插勾绘砂体边界和等值线的传统方法。这样编绘的平面图能形象、真实地展现单一曲流带砂体的形态、规模、内部结构、平面非均质特征,以及点坝砂体的厚度分布形式、渗透率分布方向等特征。

(四)储层建筑结构研究

储层构型(architecture)是指储层内部构成单元的几何形态、大小、方向及相互配置关系。储层构型要素分析法起源于河流相沉积体的研究,近些年来,有关的沉积学活动为该方法做了广泛的宣传。储层构型分析也被称为储层建筑结构分析、层次结构分析,是以Miall等人为代表提出来的。Miall等人深入研究了沉积体系内部低级别等级界面的划分,提出了一套层次界面划分和相应结构单元研究的方法和理论。层次界面分析方法强调从系统论的观点出发,研究系统本身具有的层次性和结构性,强调沉积的等时性和间断性,因此,向上与层序地层学兼容,向下可无穷细分而始终与沉积成因分析相吻合。这里的储层构型分析的重点是针对成因砂体内部储层结构进行解剖,揭示成因砂体内部储层非均质性。储层构型研究的提出,从静态的角度,为地层的进一步细分和储集层非均质性研究提供了沉积学依据和新的研究途径,为数字化精细油藏描述中储层内部特征研究提供新的研究思路和手段。

(五)不同沉积类型储层地质知识库和原型模型研究

要想建立精细油藏模型,确定剩余油分布规律。首先要建立比要预测的储层更加精细的参照物或模板,即要有各类储层的原型模型和地质知识库。

原型模型和地质知识库是储层精细预测或随机建模预测井间参数的重要基础。所谓原型模型就是一个与模拟目标储层沉积类似,并具有足够密集控制点,得到详细描述储层地质模型。从原型模型中可以获得各种参数的统计特征,如变异函数、赫斯特指数、砂体密度及宽厚比等作为模拟及约束条件来进行目标砂体随机建模,从而保证其非均质性特征的可靠性。

目前,获得原型模型的最好途径是露头研究。其次是现代沉积和油田密井网解剖,利用密井网建立的原型模型可以用来较大尺度的井间参数预测,适合于油藏评价阶段地质建模的要求。

(六)注水开发过程储层物性动态变化规律研究

油藏在注水开发过程中,不仅压力和油水分布关系在不断变化,储层物性、原油性质、油层润湿性、油层温度等也都发生了一定的变化,这些变化对油藏开发效果有重要影响。

①孔隙度和渗透率的变化。油藏注水开发过程中最重要的是油藏孔隙度和渗透率的变化。油藏流体对储集层孔隙度和渗透率影响较大。注入水中包含有机械杂质、溶解于水中的盐类、氧气和生存于水中的细菌,若注入含油污水,则水中会含有乳状的原油微滴、天然气和各种化学剂,同时注水速度等都会对油层物性造成较大影响,包括孔隙结构的变化、孔隙大小的变化以及渗透率的变化,特别是渗透率的变化较大,会造成部分储层渗透率降低甚至堵塞,也可能造成部分储层渗透率增大甚至形成大孔道,产生无效水循环。

②原油性质的变化。在油藏注水开发过程中,储集层中原油与注入水长期接触,产生一系列物理、化学反应,使原油性质发生变化。随着含水率的升高,采出原油的密度、黏度、含蜡量、含胶量和凝点都有不同程度的增大,原油性质发生变化,其中以原油黏度变化幅度最大。

③油层润湿性的变化。通过对检查井岩心的大量分析发现,油层润湿性随着水洗程度的提高,逐渐发生变化,一般是从亲油性向亲水性方向转变。

④油层温度的变化。

⑤储集层和流体性质变化对水驱效果的影响。

(七)储层裂缝表征研究

裂缝对储层储产性能的重要影响使得储层裂缝研究在当今时代有着极其重要的意义。裂缝研究已成为储层评价和预测的重要环节,也是油田有效开发的重要因素。然而,裂缝分布的复杂性、裂缝性储层特有的双孔隙系统及其不同常规的渗流机制,加大了这一研究的难度和深度。从目前发展状况看,裂缝研究主要包括传统的储层研究方法,如岩心、测井资料用于描述和预测储层裂缝,以及近年来发展起来的地震方法,并随着计算机技术的发展逐渐形成了综合多信息进行储层裂缝描述的新方法。从地质和测井资料中提取裂缝信息,是一种空间局限性较大的方法,所得结果很难完全反映储层裂缝的空间发育特征;而地震资料提取的裂缝信息,数据处理和信息提取过程中的影响因素很多,很难完全排除,提取的裂缝信息的量化也有待进一步提高;动态资料可以说是裂缝网络特征的最后表征,无论是从地质、测井还是从地震资料提取的裂缝信息都将在动态数据中得到检验。因此,应该取长补短,利用地质和测井信息的局部真实性和直接性,结合地震资料的高连续性,提取出定量的裂缝网络信息,再经过动态资料的检验和校正,从而得到更为准确的裂缝信息,更好地为油气田勘探开发服务。

(八)精细油藏地质建模研究

我国陆相油田大多经历了长期注水开发,开发对象已由油层组发展到小层,乃至单层、单砂体,开采的主要矛盾已由层间矛盾转为层内乃至砂体内部结构之间的矛盾,因而原有的地质模型已难于适应开发的需要,建立更为精细的地质模型已成为预测地下剩余油分布,制定开发调整措施的当务之急。

油藏地质模型是油藏描述综合研究的最终成果,它是对油藏类型、砂体几何形态、规模大小、储集体参数和流体性质空间分布及储集体微观特征的高度概括,它是油藏综合评价的基

础。油藏地质模型可以反映本地区油气藏形成条件、分布规律和油气富集控制因素等复杂的地质条件,在勘探开发过程中起预测作用。完整的油藏地质模型应包括:①反映油藏构造形态及断层分布的构造格架模型;②表征储集体建筑结构及各种属性空间分布的储集体地质模型;③描述储集体内油气水分布,即各种流体饱和度分布和流体性质空间变化的流体特征模型。其中储集体地质模型是油藏地质模型的关键。

一般说来,油藏地质模型的建立主要有两种方法:一是确定性建模,二是随机建模。由于储集层描述的随机性,储集层的预测结果便具有多解性。所以,应用确定性建模方法得出的唯一结果便具有其不确定性,据此做出决策便具有一定风险。但随着油田开发程度的加大,资料的不断丰富和增加,使得其预测结果的不确定性逐渐降低。而随机建模在预测不确定性方面具有一定的优势,在精细油藏描述储集层的参数预测和井位部署等风险决策中作用重大。

在油田开发阶段,储层地质建模研究主要倾向于利用地质、地震、测井人员协同一体化作业,对地下地质目标体进行综合预测。这种方法可提高储层预测精度,降低预测结果的多解性。随着油田开发程度进一步加大加深,相应的代表不同来源、不同成因特征的储层信息大量增加,使得所建立的储层地质模型日趋量化,精细程度增加,模型的确定性增强。同时建模过程强调具有层次性。这种从定性分析到定量研究,分不同层次,多方面信息、多种方法综合应用降低建模过程的随机性,提高建模结果可靠性的建模思路将是今后的发展趋势。同时还要强调地质约束作用,与油藏数值模拟技术紧密结合,只有这样才能充分发挥储层建模的优越性。

(九)地质、油藏、数模一体化研究剩余油分布特征及规律

随着注水油田开采程度的加深,地下水关系越来越复杂,出现剩余油高度分散的局面。因此,寻找剩余油相对富集的部位对高含水期油田调整挖潜具有重要的意义。目前对剩余油研究主要有两种方法:一是利用各种手段直接监测剩余油的分布;二是通过地质、油藏、数模一体化的手段,间接预测剩余油的分布。

1. 剩余油饱和度测井

目前主要有裸眼井和套管井剩余油饱和度测井技术。裸眼井中剩余油饱和度测井目前仍然是以电法和声波测井系列为主,测井解释主要利用阿尔奇公式,但由于油田注入水的变化以及其他因素的影响,出现用常规方法难以解释的现象。对此,每个油田根据自己的具体情况,进行了大量的理论和实验研究,取得一定的应用效果,逐渐形成了水淹模型法、淡水系数校正法、标定模型法和数理统计模型法等解释方法。这些方法在不同地区的应用,针对具体情况,均有一定的效果。套管井中剩余油饱和度测井是直接检测剩余油分布最有效的手段,也是各油田应用比较成熟、效果比较突出的方法。它的首要任务是判断油层水淹状况、发现高含水层位,在老井中寻找剩余油饱和度高的层位。目前主要方法是碳氧比(C/O)能谱测井、中子寿命测井、动态生产测井。

2. 地质、油藏、数模一体化研究剩余油分布

随着油田长期注水开发,地下水分布非常复杂,受许多因素影响。既有微型构造和沉积微相引起的非均质性造成的剩余油复杂分布,也有注采井网、生产措施不完善等方面控制的剩余油分布。所以,开展基于地质、生产动态和数模一体化的手段共同评价剩余油的分布是比较现实的做法。具体的做法是在微型构造和沉积微相等地质因素对剩余油分布的控制下,一是依据油藏动态、生产测试资料,利用递减和劈分及物质平衡等油藏工程原理量化油砂体的资源