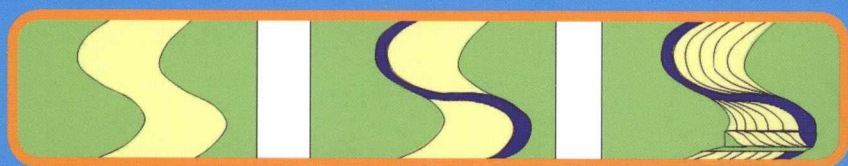
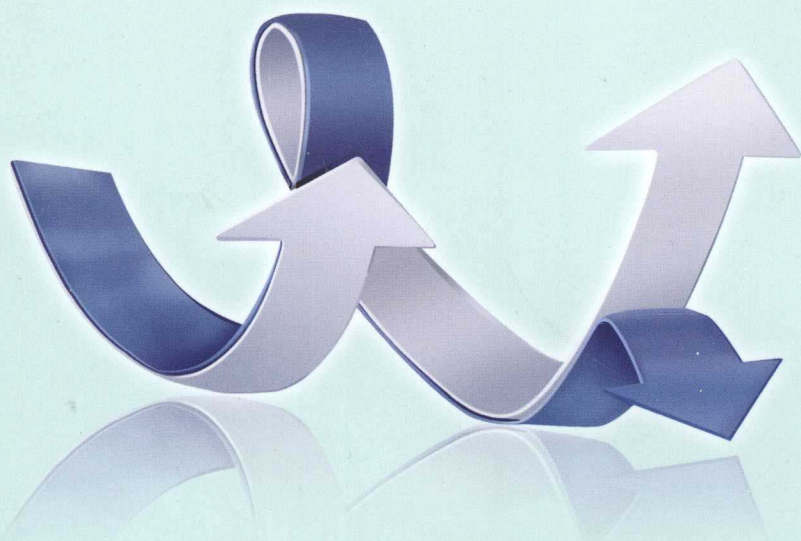


精细油藏描述

程序方法



贾爱林 程立华 著



石油工业出版社

精细油藏描述程序方法

贾爱林 程立华 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了精细油藏描述内容、技术发展状况,论述了精细油藏描述的步骤方法,并针对每一步骤的技术方法进行阐述,包括地层结构描述、沉积微相描述和储层定量参数描述等内容。既有方法理论的介绍,也有实践经验总结。

本书可供从事油田开发后期精细油藏描述及提高采收率研究的科研人员、工程技术人员和大专院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

精细油藏描述程序方法/贾爱林,程立华著.

北京:石油工业出版社,2012. 11

ISBN 978 - 7 - 5021 - 9297 - 6

I. 精…

II. ①贾…②程

III. 油藏 - 油气勘探

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 231328 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

编辑部:(010)64523683 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 11 月第 1 版 2012 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:12.25 插页:6

字数:312 千字

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

油藏描述技术经过近 30 年的发展,已经从油田开发地质学的一个分支学科发展成为一个骨干学科,并进一步演化为适应油田开发早期的油藏描述和油田开发全过程的油藏描述,以及专门针对油田开发后期以提高储层描述精度与提高老油田采收率为目的的精细油藏描述。所谓精细油藏描述,是指油田在初次开发井网完成后,利用所有开发井的动静态资料以及地震资料,开展的相对于开发前期评价而言更加精细的储层地质与油水关系研究。精细油藏描述包括两个方面的重要前提条件,一是研究资料的精细化,二是研究深度的精细化。

任何事物都没有完全程式化的模式,对于精细油藏描述也是这样,但任何事物的发展及问题的解决都有规律化的认识可循。正是基于此,笔者在多年进行油藏描述的基础上,完成了《油藏评价阶段建立地质模型的技术与方法》、《储层精细研究方法》和《精细油藏描述与地质建模》等专著和大量相关论文,并试图编写一本有关油藏精细描述程序方法的册子,介绍精细油藏描述的关键步骤,阐明各步骤中必须完成的工作和技术要点以及达到这一工作要求所必须应用的资料情况与研究所需的技术方法。

伴随着油田开发程度的不断提高与研究资料的进一步丰富,目前的精细油藏描述与十年前相比较,已经发生了很大的变化,主要表现为:在资料上,由于老油田三维地震,甚至四维地震的不断推广,使井间储层的预测与刻画更加准确;与以前的统注统采相比较,分层注采剖面细化到每一个单层,给开发地质提供了更加可靠的动态资料,特别是对储层韵律特征及储层的连续性与连通性研究。同时,开发地质对井剖面的成因单元及成因单元内部的刻画,也进一步提高了对储层的认识与研究精度。

本书介绍了精细油藏描述的程序方法,全书共十章,从精细油藏描述的主要技术手段与发展现状展开,到建立油藏地质模型,精细刻画储层展布特征与剩余油分布状态结束。本书参阅了大量文献与前人研究成果,并结合笔者多年从事油藏描述的经验与体会,重点是如何解决具体油田的油藏描述工作。书中也引用了大量的研究实例,特别是笔者过去所承担的科研工作中涉及的具体的研究对象。在此,衷心感谢和笔者一起承担文中所涉及的研究内容的人们。

在项目的研究过程与本书的成文过程中,得到了袁士义院士、方朝亮教授、钟太贤副总工程师和罗凯处长的一贯支持与指导,在此表示感谢!同时还要感谢参与项目研究的刘文岭、杨会东、何东博和郭建林等高级工程师!在诸多技术问题上,韩大匡院士、裘怿楠教授和潘兴国教授给予了悉心指导,在此表示诚挚的谢意!再次感谢多年来与笔者一同参加该项研究工作的同事,以及为本书的出版付出艰辛劳动的人们!

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)
第二节 精细油藏描述主体技术的发展现状	(7)
第三节 精细油藏描述的发展方向	(16)
第二章 精细油藏描述程序方法	(19)
第三章 区域背景描述	(24)
第一节 区域背景描述的内容及方法	(24)
第二节 冲积扇砂砾岩体	(27)
第三节 河流砂体	(30)
第四节 湖泊砂体	(36)
第四章 精细地层结构描述	(47)
第一节 “旋回对比,分级控制”法储层划分对比	(47)
第二节 高分辨率层序地层学分析技术	(52)
第三节 精细地层结构建立实例	(63)
第五章 储层沉积微相描述	(70)
第一节 沉积微相描述的基本方法	(70)
第二节 密井网区沉积相研究实例	(73)
第六章 储层地质知识库建立	(81)
第一节 储层地质知识库的主要内容	(81)
第二节 储层地质知识库建立方法	(82)
第三节 地质露头储层地质知识库建立	(83)
第四节 密井网区储层地质知识库建立	(93)
第七章 地震井间储层预测	(100)
第一节 地震属性储层预测	(100)
第二节 测井—地震联合反演	(106)
第三节 地震分频技术	(110)
第四节 开发地震技术	(112)
第八章 成因单元内部构型描述	(114)
第一节 储层构型分析理论方法	(114)
第二节 储层构型研究步骤及实例	(120)
第九章 储层物性参数及流体描述	(133)
第一节 储层非均质性描述技术	(133)
第二节 剩余油分布描述	(148)

第十章 油藏地质模型 (159)

 第一节 储层地质模型的分类 (159)

 第二节 地质模型建立方法 (160)

 第三节 精细地质模型建立步骤 (171)

 第四节 确定性储层三维建模 (173)

 第五节 井—震结合随机模拟储层三维建模 (179)

参考文献 (186)

附图

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。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。油藏描述作为油田开发的一项基础工作,在石油科技领域,一直是一个受到极大重视的课题。

随着油气田勘探开发工作的不断深入,新油气田的发现和成熟油田的开发难度也日益增大。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、海上和政治高风险区域,勘探成本大幅度上升。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。对这部分老油田的挖潜,引起了人们更大的重视。

20 世纪 80 年代末以来,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。西方国家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向定量、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而发展起来的。

二、开展精细油藏描述的必要性

我国成熟油田开发表现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,加上我国陆相储层的复杂性,使得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。

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

三、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性技术。精细油藏描述的目的是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。

这些特征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。

完善的精细油藏描述过程为描述→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。

四、精细油藏描述的主要特点

考虑到所获得资料的情况并达到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 $\geq 5\text{m}$ 的微型构造,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)目前三维地震资料 and 新的解释技术可以解释出 10 ~ 20m,甚至更小断距的断层。

(2)井网井距达到 200 ~ 300m,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 ~ 100m 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。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,单一点砂坝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

精细油藏描述是油田开发后期开展的重要工作,其目的是精细刻画储层特征,预测剩余油分布规律,提供剩余油挖潜措施。因此,这一阶段的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,从生产动态数据反映流体的变换,并用动态的历史拟合修正静态的地质模型。

(四)计算机化程度高

小层对比和沉积微相划分可以采取人机联作,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。

五、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,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

精细构造描述包括断层描述和层面构造描述,要求对低级序断层和微型构造都要进行描述。目前主要以密井网资料为基础,利用传统地质精细解剖方法及三维地震资料精细解释对微型构造进行研究。

微型构造是指在总的油田构造背景上,油层本身的微细起伏变化所显示的构造特征,即指

单砂体顶、底界面及其内部的各种隔挡层微幅度构造起伏,断层断距小于 5.0m,是原始沉积环境、差异压实和构造运动共同作用的结果。微型构造幅度和范围均很小,通常相对高差在 10m 以内,面积很少超过 0.3km²,它可以分为正向微型构造和负向微型构造,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,主要是受砂体沉积前的下切作用、差异压实作用和沉积古地形等因素的影响而形成的微型构造;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。

研究微型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是低部位油井生产能力的 2~4 倍。

(2)对处于微型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,对处于微型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。说明通过不同微型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)相对较高的正向微型构造区的油井易形成高效井。

(4)微型构造与沉积微相结合控制油水运动规律,在微型构造变化较大的地区,储层内油水运动受沉积微相与微型构造的共同控制,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,油水运动则受沉积微相控制。

(5)微型构造高部位剩余饱和度相对较高,水淹级别低。

(6)正向微型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

为了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。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,以及点砂坝体的厚度分布形式、渗透率分布方向等特征。

(四)储层建筑结构研究

储层建筑结构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,也称为储层构型或层次结构。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。储层建筑结构分析也被称为储层构型分析、层次结构分析。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,从静态的角度上为地层的进一步细分和储层非均质性研究提供了沉积学依据和新的研究途径,并为数字化精细油藏描述中储层内部特征研究提供了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描述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,可做较大尺度的井间参数预测,能达到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。油藏流体对储层孔隙度和渗透率影响较大。注入水中包含有机杂质、溶解于水的盐类、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为最大。

(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具有极其重要的意义。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,如岩心和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在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,提取的裂缝信息的定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,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。

一般来说,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。由于储层描述的随机性,储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定量化,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

这种测井技术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针对具体情况应用后,均有一定的效果。套管井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,地下油水分布非常复杂,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和剩余潜力;二是以精细地质研究为基础,综合密闭检查取心井、水淹层解释及生产动态和监测的多元信息,通过数学方法和数值模拟等手段,描述剩余油分布。

根据目前国内外关于剩余油研究的现状和工作实践,认为剩余油分布研究必须采用多种信息、多种手段集成的综合研究技术,要以精细地质研究和油藏描述手段为基础,搞清控制剩余油分布的基本地质因素。比如,微型构造的发育特点对剩余油分布的控制作用。按照层次界面和流动单元逐级细分的精细地质思路,搞清储层的非均质性变化,然后充分发挥剩余油检测技术直接得到剩余油的井点分布,并与大量的动静态资料结合,利用常规油藏工程手段,进行油水运动规律分析,至少以单个油砂体为研究单元,总体量化资源潜力和剩余潜力,再依据动态数据和监测资料描述单层内剩余油的宏观分布规律。在此基础上,以高精度油藏地质预测模型为基础,进行数值模拟研究,如果有条件,考虑采用较大规模的数值模拟技术,精细刻画剩余油的分布。

第二节 精细油藏描述主体技术的发展现状

油藏描述的主要任务就是认识油藏的实际情况。该技术的发展主要受两个方面的推动。第一,对所面对的地质体的认识要求越来越高。在勘探方面,优质整装圈闭与油气藏在全球范围内几乎挖掘殆尽,勘探和发现的难度急剧增加;在开发方面,大批油田进入了开发后期和晚期,粗放的开发方式远远不能满足生产的需要,必须在比以往更加精细的尺度上认识和研究储层,才能找出进一步挖潜的对象,实现老油田的稳产。第二,新的油藏描述技术和方法使实现这些目标成为可能。在技术方面,测井、物探技术最近几年得到飞速的发展,可以研究的内容和精度得到很大的提高,直接促进了油藏描述精度的提高;计算机应用水平的提高又为多学科信息在同一个数据平台上进行综合研究提供了新思路,其中发展最快的是定量地质学研究技术、原型地质模型建立技术和高分辨率层序地层研究技术。

一、地质研究的精细化和定量化

在油藏描述中,地质学研究最核心的问题就是要尽量准确地描述和预测储层各个级别的非均质性问题:(1)层系规模的研究要描述砂岩密度、分层系数、层间渗透率非均质程度和不

同级别储层空间配置、隔层分布等问题;(2)单层规模的研究要描述层内沉积韵律和层内非均质性以及夹层的分布等问题;(3)砂体规模的研究要重点描述砂体的几何形态、连续性、连通性和宏观渗透率方向性等问题;(4)孔隙规模的研究要重点描述孔隙类型、孔喉配置和孔隙结构等问题。

目前地质研究的精细化和定量化发展主要表现在三个方面:(1)研究的尺度越来越小;(2)基本单元越来越小;(3)定量化和预测化趋势越来越明显。这种发展趋势也是为了满足生产的要求,特别是老油田的深入挖潜问题,没有精细的地质研究将是非常困难的。

(一)地质研究的精细化

地质研究的精细化在地层单元的尺度、构造解释的精细程度、成岩演化的详细程度以及孔隙结构的发育过程各方面都有表现。在地层单元的划分上,不仅以层组为单元的地层划分不能满足实际需要,甚至单砂体尺度的划分也不能满足生产的要求,目前必须在单砂体内部就其结构构造、韵律特征、夹层的分布模式等具体问题进行深入的研究。图 1-1 是逐级进行储层详细研究的示意图,最终在扇三角洲近岸水道的一个水道砂体的内部,又详细地划分出 7 个以不同的构造和粒度组成的单元。由下到上依次为块状细砾岩(含碳化树干)—大型槽状交错层理砾状砂岩—平行层理粗砂岩—块状中砂岩。经过这样的详细研究,不仅可以知道在一定的开发条件下地下流体的分布状况,而且由于预先知道了砂体内部的变化特征,可以在开发前比较准确地预测开发到一定程度后剩余油的可能分布特征。

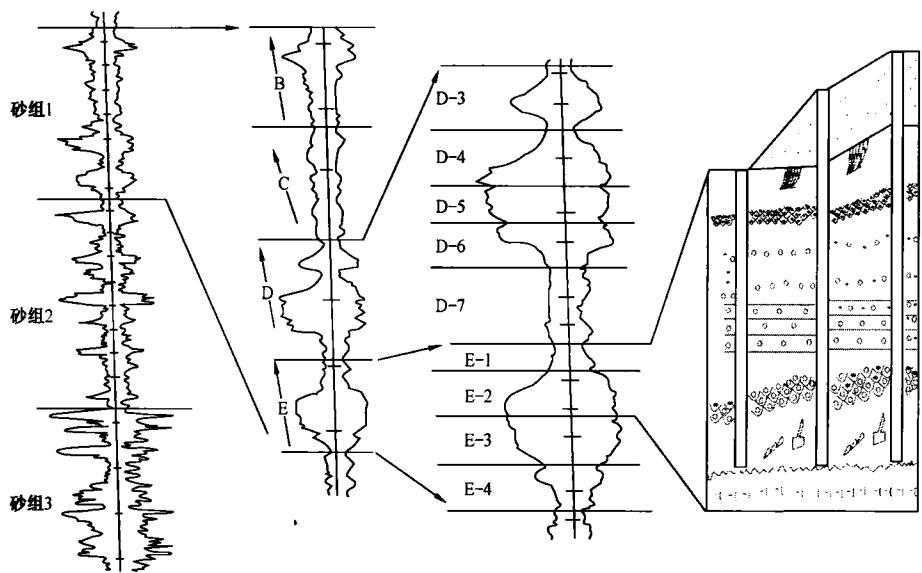


图 1-1 储层精细化研究示意图

大庆油田通过沉积单元的细分及沉积微相的研究,对砂体结构的精细刻画进行了更深入的研究。

1. 厚油层内部建筑结构

在一些厚油层的砂体内部,单砂体韵律段之间,存在着渗流隔挡层。这些渗流隔挡层与沉积环境和成岩作用有关,大体可分为 4 类:

Ⅰ类界面:表外层之间的泥岩或钙质层,界面厚度 $\geq 0.2\text{m}$ 。

Ⅱ类界面:有效层之间的钙质层或物性夹层,界面厚度 $\geq 0.4\text{m}$ 。

Ⅲ类界面:有效厚度内部的钙质层或物性夹层, $0.1\text{m} \leq \text{界面厚度} \leq 0.4\text{m}$ 。

Ⅳ类界面:两期砂岩叠加存在的渗透率分级或水淹界面,界面厚度为 $<0.1\text{m}$ 。

大庆油田在细分沉积单元的基础上,通过层次分析原理实现了厚油层的层次旋回细分,精确地刻画了砂体内部建筑结构及其对渗流的影响,为精细描述厚层内剩余油的分布奠定了坚实的基础。

2. 复合砂体单一河道识别方法研究

大庆油田杏南开发区中有很多三角洲分流平原相沉积的砂体。这些砂体多由单一河道砂体叠加而成。大庆油田从垂向上区分不同期的单一河道,在横向上追踪单一砂体。依据现代沉积理论,以沉积模式为指导,对古地理环境进行恢复,搞清目的层的相带位置、单一河道规模、相带展布方向,准确勾绘单一河道相带展布图。

复合砂体单一河道的识别,精确地刻画了储层的非均质性及砂体间连通关系,搞清了影响聚驱开发效果的主要因素及砂体动用特征,对于指导措施的选井、选层以及指导注水方案调整均有重大意义。

3. 微型构造研究

构造的解释在老油田的挖潜中已经不是构造的形态和断层的组合等问题了,在老油田,一般的井网密度都达到了 $200 \sim 300\text{m}$,个别用于实验区的井网密度可以达到 50m 或更小,再加上地震解释精度的不断提高,需要进一步提高解释精度的是微细的构造变化和很小断距的断层。

4. 成岩作用研究向三维方向发展

成岩演化的研究已经远远超越了简单地定义成岩阶段,而是针对成岩的过程进行研究:(1)在盆地范围内,要综合研究盆地不同构造单元、不同流体场控制条件下的热力、埋藏、矿物成分、岩石类型;(2)在油藏范围内,则要研究统一构造、流体场控制条件下的成岩阶次、矿物转化、储层内流体类型、成因单元的沉积机制等内容。

在对成岩作用的研究过程中,已经从一维的研究发展到了二维成岩作用的研究,并正在向三维成岩模拟的方向发展。特别需要说明的是,最近几年新的分析化验技术、显微技术的发展,使储层和成岩的精细化研究成为可能。

(二)地质研究的量化

储层地质学的发展从一般的描述向半定量的方向发展已经历了10多年,并在许多方面都取得了相当的成功,随着计算机技术的飞速发展以及其他相关学科对地质学的要求,目前已经远远不能满足生产和科研需要,发展定量地质学必将成为必然。

定量地质学就是要将地质体的形态、特征、砂体之间的各种比例关系以及砂体内部的各种参数定量地表征出来。定量地质学的研究方法主要包括野外露头解剖、油田密井网区的研究、沉积体系的物理模拟与数值模拟等几个方面。

在“九五”期间,中国石油勘探开发研究院牵头完成了滦平扇三角洲和大同辫状河两个露头储层的精细定量地质学研究。结合两类露头沉积体系的特征,进行了相同沉积体系的物理模拟和数值模拟研究,解剖了相同沉积体系的油田地下实际情况,将三个方面的研究成果相结合。扇三角洲和辫状河以及定量地质学研究得到了很大的发展,总结出了包括砂体的形态特征、砂体的大小比例和配置关系、砂体的定量数据、砂体内部的物性分布规律、砂体预测方法等一系列定量研究成果,也建立了包括岩性、岩相库、环境类型库、规模尺度库、夹层类型库、砂体统计库和原型模型等地质知识库,建立了陆相碎屑岩储层定量地质学的初步研究方法。

在定量地质学的研究过程中,除不可用数值表达的地质参数外(如沉积体系、沉积环境等),其他的参数则应尽量定量表述。通过研究,在这一方面总结的大量定量地质学规律,为相似地下储层的预测提供了指导。

系列定量统计和预测技术的发展,将为储层研究向精细化发展奠定了一定的基础。

二、测井技术在储层描述中的作用

测井技术在储层描述中的作用日益明显。测井技术历来被认为是油田地下的“眼睛”,是油田开发过程中认识地下的最重要的手段之一。特别是我国目前老油田进入高含水阶段,水淹层和低阻油层是主要的挖潜对象,裂缝型低渗透储层也是目前测井解释评价的一个难题。开发新的测井技术并充分利用传统的测井手段进行进一步的研究显得尤为重要,主要表现在以下几个方面。

(一)传统的测井手段仍是储层描述的主要工具

对于一般的砂泥岩地层来说,测井主要解决的问题有:渗透层、有效层和隔层的划分;解释储层中的流体类型和性质,即油、气、水层;以及对储层参数进行解释,包括孔隙度、渗透率和含油饱和度。一般来说,只要根据四性关系建立起正确的、合乎本油藏特点的解释图版,除渗透率以外,测井手段得到的其他 8 项参数的解释精度,已完全可以满足需要。

目前的常规测井方法还无法直接求取渗透率,但可以通过其他参数间接求取渗透率。一般是通过孔隙度和泥质含量来计算的,也有直接用孔隙度求取的。目前世界各大石油公司通用的做法是先通过岩心分析的孔隙度与渗透率数据建立关系,然后用这一关系从测井解释的孔隙度求取渗透率。虽然这一方法得到了广泛的应用,并经实践检验是较为实用的,但其误差仍然很难控制在 30% 以内。我们都知道,影响渗透率的因素是非常复杂的,即使是在同一油藏内,具有同一孔隙度的储层其渗透率的极限差别也可以是很大数量级的。除了渗透率的解释还有待进一步提高外,常规测井还有一些问题不能得到很好的解决。主要表现在三个方面:(1)由于测井解释分辨率的问题,对薄层的解释还有一定的难度,不能满足老油田对薄层、差层挖潜的需要;(2)裸眼井及套管井水淹层定量解释还存在较多的问题,不能很好地解释地层及流体在开发过程中的变化;(3)裂缝和低渗透储层的测井解释技术亟待提高,以满足生产的实际需要。为了解决这些问题,近年来出现了一批新的测井技术和方法。

(二)新测井技术的发展和运用

针对上述几个较难解决的问题,出现了新的测井方法和技术,在一定程度上可以解决一些问题,最具有代表性的包括以下几种。

1. 成像测井技术

成像测井仪是第五代测井仪器,是测井的重大技术突破。它在储层描述方面可以提供高分辨率的真实井壁情况,可用于确定地层倾角,探测裂缝、孔洞,定量描述薄层,确定断层位置和其他地质特征。在一定程度上具有代替取心的作用,同时可弥补常规取心上难以对层理构造和裂缝方位等进行确定的不足。成像测井分辨率最高可达 0.5cm,能够观察到大个砾石的沉积现象。主要的成像测井系列有:阵列感应成像测井、方位侧向成像测井、地层微电阻率扫描成像测井、偶极子横波成像测井、超声波成像测井等。

2. 核磁共振测井

核磁共振测井是近几年测井技术发展最快的一种。核磁共振测井是能够测量储层自由孔隙度的新方法,不受岩性、泥质和流体矿化度的影响。在储层表征中,能够定量而可靠的获得

孔隙度、孔隙大小分布、渗透率和束缚或可动液体饱和度的资料,并能够探测油气层采收率和有效厚度,用于计算油田的可采储量。目前,核磁共振测井技术已经开始进入实用阶段。这一技术的快速发展不仅使现场快速测量储层特性成为可能,而且使提供廉价的优质测量结果成为可能。

3. 随钻测井

随钻测井是测井技术中的又一重大突破,测井内容在不断扩大,包括地层电阻率、自然伽马、中子、密度和声波等。西方石油公司在 20 世纪 90 年代初就已经开始应用于资料井和水平井的钻井过程中。随钻测井最大的优点是可以测得原始状态地层和流体的真实情况,并且不占用钻井时间。

4. 组件式地层动态测试

组件式地层动态测试是根据渗流原理设计而成的。仪器下井一次可以采集多个流体样品和流速数据,并有光学指示计监视进入取样室的储层流体性质,在油藏描述中发挥的主要作用包括直接测量地层压力及其渗透率、直接找油找气和评价油气层的生产能力等。

5. 过套管测井

过套管测井包括脉冲中子俘获测井、碳氧比测井、重力测井和过套管电阻率测井。特别是对于老油田,过套管电阻率测井为动态油藏描述提供了有力的手段,它克服了常规电阻率测井只能在新井完钻后进行测井,而无法在下有套管的井眼中求取有效电阻率的不足。通过对老井进行过套管电阻率测井,并与最初测井资料对比,可以了解水淹程度、剩余油和注水驱油效率等,还可以进一步了解砂体连通性及储层非均质性。

当然,这些测井新技术目前还不能作为常规方法普遍应用,加之老油田中绝大多数老井都是老的测井系列,进一步提高常规测井系列的解释精度仍然是现实的任务,同时这些新的测井技术在标定和提高常规方法上也将起到重要作用。

(三) 常规测井资料得到深入挖潜

尽管测井新技术的出现使人们认识地下真实情况的能力得到了提高,但成本较高。充分利用常规测井资料来解决特殊储层问题就显得非常重要。目前应用比较成功的是利用常规测井信息对裂缝进行的识别和研究。应用常规测井资料进行裂缝识别的主要依据是:含流体裂缝的导电性、裂缝地层的非均质性和各向异性以及裂缝的发育与岩性的关系等。孔隙结构指数法、孔隙度测井组合法和裂缝测井指示法是应用比较好的几种方法。通过这些方法可以计算出裂缝储层的孔隙度和渗透率,具有很好的实用价值。

三、开发地震研究的精细化使储层的精细预测成为可能

开发地震技术是应生产实践需要而产生的一门储层地球物理学科。它是以勘探地震为基础,针对具体的、小尺度的、需要精细结构描述的油气藏,进行地震观测、处理 and 解释的技术,可以理解为开发阶段所采用的地震技术,也被称为储层地震学或油藏地震学。它是在勘探地震学的基础上发展起来的,充分利用针对油藏的观测方法和属性处理技术,紧密结合钻井、测井、岩石物理、油田地质和油藏工程等多学科资料,在油气田开发和开采过程中,对油藏特征进行横向预测,做出完整描述和进行动态监测的一门学科。主要技术包括地震目标处理、三维联片处理、迭前深度偏移、高分辨率地震勘探、地震属性分析与烃类检测、相干体分析、定量地震相分析、地震综合解释与可视化、地震反演、储层特征重构与特征反演、AVO 分析与反演、三维 AVO、井间地震、四维地震、多波多分量等。开发地震的内涵包括两个部分,即储层静态描述和