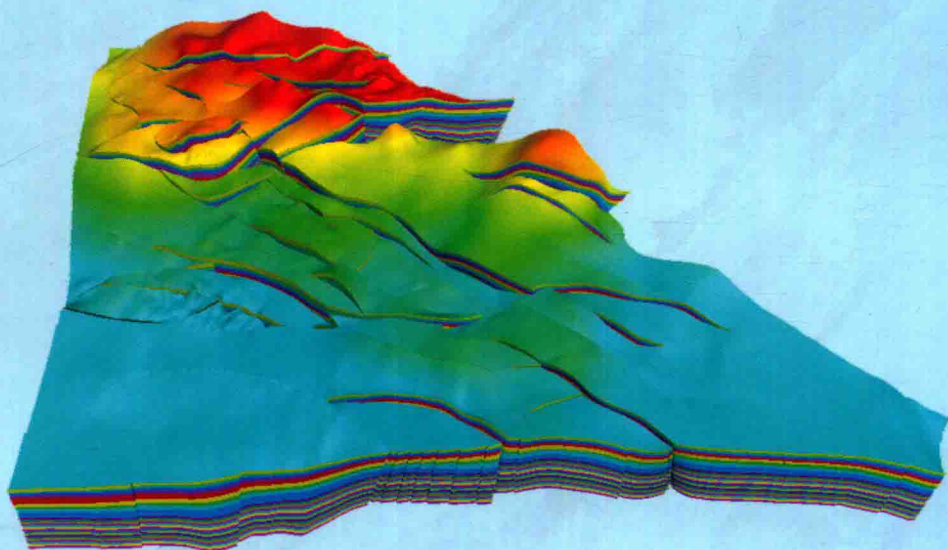


多层复杂断块油藏描述 实用技术及应用

**PRACTICAL TECHNIQUE AND APPLICATION
OF RESERVOIR DESCRIPTION
IN MULTI-LAYER COMPLEX FAULT BLOCK**

王庆魁 张家良 季岭 刘钰铭 编著



中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

多层复杂断块油藏描述 实用技术及应用

王庆魁 张家良 季 岭 刘钰铭 编著

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

多层复杂断块油藏描述实用技术及应用/王庆魁等编著.
—北京:中国石化出版社,2017.4
ISBN 978-7-5114-4407-3

I. ①多… II. ①王… III. ①断块油气藏-油气勘探
IV. ①P618.130.208

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第048405号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市朝阳区吉市口路9号

邮编:100020 电话:(010)59964500

发行部电话:(010)59964526

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京柏力行彩印有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092毫米16开本15.5印张343千字
2017年5月第1版 2017年5月第1次印刷
定价:52.00元

前 言

我国东部油区多为复杂断块油藏，断层多，油层多，油水关系复杂，储层非均质性严重，且随着油田勘探开发程度的不断加深，剩余油高度分散，开发、开采难度越来越大。尤其对于地质构造、沉积环境、油水系统、储层特征及其内部流体复杂、特殊的多层复杂断块油藏，需要掌握更加全面、精细的地下地质信息，利用更加先进、完善的油藏描述技术，方能进一步挖潜油藏内部高度复杂分散富集的剩余油。

本书共9章。第一章，绪论，主要介绍了多层复杂断块油藏的基本特征、油藏描述技术的发展现状以及复杂断块油藏描述技术的主要内容。第二章，构造精细研究与应用，阐述了构造特征分析、地层划分与对比以及地震构造解释技术。第三章，沉积微相及储层构型分析，论述了沉积微相分析方法，分析了不同微相类型的展布特征；结合冲积扇、扇三角洲、辫状河等不同沉积类型，阐明了不同构型单元控制下的剩余油分布模式。第四章，储层特征分析，阐明了不同层位储层的岩性、物性以及微观孔隙结构特征，定量分析了层内、层间以及平面非均质性，并划分了流动单元，识别、预测了优势渗流通道。第五章，优势储层预测，介绍了优势储层预测研究现状，分析地震属性，进行地震储层反演，阐明了储层砂体空间展布规律以及优质储层分布规律，论述了优质储层控制因素。第六章，油水分布特征，描述了油藏基本特征以及多层复杂断块油藏油水分布特征。第七章，三维地质建模，提出了多油层、多断块、多岩性建模方法，对重点区块进行单砂层级次精细建模。第八章，油藏调整潜力研究，评价采收率，分析潜力，阐述了剩余油分布样式。第九章，油田开发调整方案编制，介绍了油田开发调整方案编制的原则、思路以及主要内容。

本书各章节编写人员如下：前言和绪论由王庆魁编写；第二章由王庆魁、张家良、孙建编写；第三章由季岭、任晓旭编写；第四章由刘钰铭、王喜鑫编写；第五章由张家良、季岭编写；第六章由王庆魁、张家良、刘钰铭编写；第七章第一节由刘钰铭编写，第二、三节由任晓旭编写，第四节由王喜鑫编写；第八章和第九章由季岭、吕中锋编写。

本书在编写过程中，自始至终得到了中国石油大学(北京)侯加根教授的大力支持和指导。在此，谨向侯老师致以衷心的感谢。此外，感谢中国石油天然气股份有限公司大港油田分公司第三采油厂孙建、吕中锋两位工程师以及中国石油大学(北京)任晓旭、王喜鑫两位博士在本书内容编写上的努力和付出。

由于笔者水平有限，书中不正之处，敬请各位专家、读者给予批评指正。

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 多层复杂断块油藏基本特征	(1)
第二节 油藏描述技术发展现状	(6)
第三节 复杂断块油藏描述技术主要内容	(9)
第二章 构造精细研究与应用	(14)
第一节 构造特征分析	(14)
第二节 地层划分对比	(16)
第三节 地震构造解释技术	(24)
第三章 沉积微相及储层构型分析	(32)
第一节 沉积环境分析	(32)
第二节 沉积微相演化规律	(49)
第三节 单砂体精细构型解剖	(62)
第四节 构型对剩余油的控制作用	(93)
第四章 储层特征分析	(103)
第一节 储层基本特征	(103)
第二节 储层非均质性定量评价	(110)
第三节 流动单元研究	(119)
第四节 优势渗流通道分析	(127)
第五节 优势渗流通道形成的主控因素	(144)
第五章 优势储层预测	(153)
第一节 优势储层预测研究现状及进展	(154)
第二节 地震属性分析	(157)
第三节 地震储层反演	(161)

第四节	储层砂体空间展布特征	(167)
第五节	优质储层划分标准	(170)
第六节	优质储层控制因素	(171)
第七节	优质储层分布规律	(174)
第六章	油水分布特征	(180)
第一节	油藏基本特征	(180)
第二节	油水系统及油水分布	(185)
第七章	三维地质建模	(195)
第一节	三维地质建模研究现状和进展	(195)
第二节	建立模型基本思路	(198)
第三节	复杂断块油藏精细模型建立	(200)
第四节	火成岩三维地质建模	(206)
第八章	油藏调整潜力研究	(211)
第一节	油藏潜力分析方法	(211)
第二节	采收率评价	(212)
第三节	潜力分析	(219)
第四节	剩余油分布形式	(225)
第九章	油田开发调整方案编制	(230)
第一节	油田开发调整方案编制原则	(230)
第二节	层系与井距论证	(231)
第三节	方案编制	(234)
参考文献		(237)

第一章 概 述

油藏描述技术是综合应用多学科知识,采用先进的计算模块,对储层形态进行精细的描述,对油藏的各种参数进行三维空间的定量描述和表征。油藏描述亦称为储集层描述,源自英文 Reservoir Description 一词,最终成果是建立反映油藏圈闭几何形态及其边界条件、储层特征和渗流特征、流体性质及其分布特征的三维或四维油藏地质模型。

随着油田勘探开发程度的不断加深,我国大部分油田都已进入高含水阶段,剩余油高度分散,开发开采难度越来越大,尤其对于多层复杂断块油藏,由于其地质构造、沉积环境、油水系统、储层特征及其内部流体的复杂性和特殊性,想要进一步挖潜油藏内部分散富集的剩余油,需要掌握更加全面、精细的地下地质信息,利用更加先进、完善的油藏描述技术。

本书以大港王官屯油田为例,通过精细的地震构造解释、等时地层对比划分、沉积微相以及储层构型分析、储层特征研究、优势储层预测、油水分布特征分析、三维地质建模、油藏调整潜力研究以及综合开发方案的编制,提出了一套应用于多层复杂断块的精细油藏描述技术,全面系统地阐述了复杂断块油藏特征。

第一节 多层复杂断块油藏基本特征

含油面积小于 1km^2 的断块油藏的石油地质储量占总储量的 $1/2$ 以上的断块油田,称为复杂断块油田。复杂断块油田主要地质特点为:①由多种级别的断层控制的复杂断裂系统所产生的众多相互独立的断块油藏组成,每个断块油藏是独立的开发单元;②平面上由断层分割造成不同断块之间储量丰度、油层物性、原油性质、油层产能差别大;③同一断块储层在纵向上含油井段长,储量分布差异大,层间非均质是开发层系划分及调整的主要矛盾;④在复杂断块油藏背景下的油藏类型多样。

一、构造特征复杂

复杂断块油藏最突出的特点是构造极其复杂,形成的断块面积较小,断层分布密集、相互交叉切割;断点位置难以确定,断层组合困难;地震资料品质差,各种地质干扰比较严重。目的层地震反射不明显,导致小断层识别难度大。

在断层的影响下,地层变化大,岩相变化快,对比难度大。地层归位困难,无法准确进行地层划分,加之含油层段长,规律性较差,增加了复杂断块油藏研究的难度。随着油



田勘探开发的进步,特别是高精度三维地震资料的采集、处理和解释技术的发展使地震资料品质得以改善,地震地质相结合的方法为重新进行复杂断块研究奠定了基础。

二、沉积类型多样

王官屯油田主要含油层系从中生界直到新生界沙河街组,物源来自西部的沧县隆起和东部的徐黑凸起,不同层位不同断块的沉积微相有较大的差异。中生界主要为辫状河沉积,以官 142 断块为典型断块,孔二段为水下扇沉积,代表断块为上升盘官 38-16 断块和下降盘官 998 断块,孔一段枣四五为扇三角洲沉积,以官 195 断块为代表,孔一段枣二三为冲积扇沉积,以上升盘官 80 断块和下降盘官 104 断块为代表断块。沙河街组主要发育三角洲沉积,沙一段发育一套覆盖全区的稳定的生物灰岩。

区域研究表明,孔二段为具良好生油条件的深湖一半深湖相环境;到孔一段沉积时期,区域构造隆升,古气候较为干热,湖盆水域在大量陆源碎屑以超补偿方式注入下迅速缩小,逐渐转化为扇三角洲—冲积扇—冲积平原为主的沉积环境。这一时期,王官屯地区物源主要为北西向,由间歇性洪水携带陆源碎屑物自沧县隆起由西向东倾泄,洪水冲出山谷,在出口处形成扇根堆积体后,开始向盆地内分流扩散。受盆地地形和自身堆积作用的影响,河流分叉合并现象频繁。孔一段枣Ⅳ、枣Ⅴ油组,为早期冲积扇发育期,冲积扇进入湖盆形成扇三角洲沉积体系。枣Ⅱ、枣Ⅲ时期为扇三角洲发育鼎盛时期,以辫状河道沉积为主,广泛沉积了平行、板状、槽状交错层理砂岩体,即冲积扇中辫状河道沉积体。枣Ⅰ时期扇体洪水能量逐渐减弱,只剩下细支河道沉积,至枣 0 油组转化为盐湖的膏盐沉积。从孔一段地层发育特点看,由枣Ⅴ—枣Ⅰ油组组成一个由细变粗、再由粗变细的完整旋回。孔一段地层的沉积环境,即自下而上为湖泊—扇三角洲的发育期—鼎盛时期(扇中辫状河道沉积)—衰退(支流河道沉积)—盐湖沉积的过程。

三、储层非均质性严重

王官屯地区孔一段在岩石组成成分上,孔东断层上升盘和下降盘较相似,但其岩石类型有较大区别,在上升盘,岩石主要由长石砂岩和岩屑质长石砂岩组成,岩屑含量较少,圆度次棱—次圆,分选性中—好,风化程度为中—强。下降盘石英含量和岩屑含量均相对较高,岩石组成为长石砂岩、岩屑质长石砂岩、长石质岩屑砂岩及石英砂岩,圆度为次尖—次圆,分选中—好,含有大量浅层风化产物。总体来说,王官屯地区的岩石成分以长石为主,占 40% 以上,岩石类型以长石砂岩和岩屑质长石砂岩为主,胶结物类型以泥质与碳酸盐胶结占主体,胶结致密。

王官屯油田断块多,层位多,物性分布差异较大。枣Ⅱ油组,孔隙度为 11.2% ~ 24.9%,平均为 20.0%;渗透率为 $4.0 \times 10^{-3} \sim 1129 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $209.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为中孔中渗储层。枣Ⅲ油组,孔隙度为 5.6% ~ 29.4%,平均为 19.8%;渗透率为 $4.5 \times 10^{-3} \sim 1359 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $186.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为中孔中渗储层。枣Ⅳ油组,孔隙度为 12.4% ~ 29.8%,平均为 18.4%;渗透率为 $19.3 \times 10^{-3} \sim 879.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平



均为 $125.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为中孔中渗储层。枣 V 油组, 孔隙度为 15.1% ~ 31.3%, 平均为 26.0%; 渗透率为 $13.7 \times 10^{-3} \sim 1522.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $235.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为高孔中渗储层。孔二 2 油组, 孔隙度为 10.6% ~ 22.9%, 平均为 14.1%; 渗透率为 $16.9 \times 10^{-3} \sim 116.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $19.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为高孔中渗储层。孔二 4 油组, 孔隙度为 10.2% ~ 22.5%, 平均为 14.6%; 渗透率为 $15.1 \times 10^{-3} \sim 200.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $43.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为高孔中渗储层。

通过对王官屯油田的 178 块压汞资料的分析, 将王官屯地区的孔一段油组储层孔隙结构分为 4 种类型: 高渗粗喉型, 中渗中喉型, 低渗细喉型及特低渗微喉型。随后, 以枣 V 油组为例对其各种微观孔隙类型在储层中所占百分含量进行对比。①高渗粗喉型, 毛管压力曲线属粗歪度, 平台明显可见, 排驱压力平均为 0.071MPa, 孔喉分布集中, 分选好, 为单峰粗态型孔喉曲线, 在渗流中起主要渗滤作用的喉道是 $7.35 \mu\text{m}$ 。镜下观察, 碎屑颗粒排列疏松, 分选好, 杂基填隙物少, 孔隙发育, 喉道粗且孔喉连通性好。压汞资料统计结果表明, 孔隙度平均为 25.47%, 渗透率平均为 $333.42 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最大连通喉道半径为 $11.08 \mu\text{m}$, 具有这一孔隙类型的储层属 I 类储层。②中渗中喉型, 毛管压力曲线呈偏粗歪度, 可见较明显平台, 排驱压力较低, 平均为 0.1305MPa; 孔喉分布较集中, 分选较好, 为单峰偏粗态型孔喉曲线, 在渗流中起主要作用的喉道介于 $0.735 \sim 7.35 \mu\text{m}$, 峰值为 50% ~ 70%, 表明喉道分布比较集中, 分选亦较好。镜下观察, 碎屑颗粒较粗, 以中砂岩为主, 排列比较疏松, 点一线接触。孔、喉较发育, 溶蚀作用较强。统计结果显示, 孔隙度平均为 23.75%, 渗透率平均为 $85.11 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最大连通喉道半径为 $6.85 \mu\text{m}$, 具有这一孔隙类型的储层属 II 类储层。③低渗细喉型, 毛管压力曲线表现为较偏粗歪度, 只可见一较短的平台, 排驱压力较高, 平均为 0.29MPa, 孔喉分选变差, 为单峰较偏粗型曲线, 在渗流中起主要渗滤作用的喉道为 $0.735 \mu\text{m}$, 峰值为 45% ~ 60%。镜下观察, 碎屑颗粒为中砂质细砂岩结构, 较之于 II 型储层, 颗粒分选变差, 杂基填隙物增多, 胶结物除泥质外尚可见碳酸盐岩及硅质胶结物。统计结果显示, 该类型储层孔隙度平均为 22.46%, 渗透率为 $27.63 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最大连通喉道半径为 $12.88 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 喉道中值半径平均为 $10.77 \mu\text{m}$ 。具有这一孔隙类型的储层为 III 类储层, 为本地区的主要储层。④特低渗微喉型, 毛管压力曲线呈细歪度, 表现为排驱压力高 ($P_d = 0.67 \text{MPa}$), 孔喉分选差, 属平峰 (或双峰), 偏细喉型曲线, 峰值 10% 左右, 可见与上述几种类型相比, 喉道分选已明显变差。镜下观察, 碎屑颗粒粉细砂结构, 分选差, 颗粒以线和凹凸接触为主, 排列紧密; 胶结物含量高, 胶结类型为孔隙式—基底式。从统计结果看, 孔隙度仅为 18.5%, 渗透率仅 $3.31 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最大连通喉道半径平均仅为 $2.82 \mu\text{m}$, 喉道中值半径平均为 $12.18 \mu\text{m}$, 表明该类型已为非有效储层。综上所述, 王官屯地区的微观孔隙类型主要以低渗细喉型为主要组成部分, 占样品总数的 42.55%, 其次分别为中渗中喉型, 占 27.66%, 低渗微喉型占 19.15%, 高渗粗喉型占 10.64%。

孔一段、孔二段内部非均质性参数计算结果表明, 孔一段储层变异系数大于 0.7, 突进系数大于 3, 非均质性强, 层间干扰强烈, 在注水开发过程中应考虑。孔二段变异系数



为 0.58, 突进系数为 1.32, 非均质性中等。储层平面非均质性主要受控于沉积相。沉积相带展布决定了砂体的几何展布及物性的平面分布规律。整体上, 砂体类型主要分为连片状、宽条带状、窄条带状及土豆状。其中, 连片状占 36%, 宽条带状占 25%, 窄条带状占 26%, 土豆状占 13%。沙河街组、孔一段砂体以连片状为主, 孔二段砂体以窄条状和土豆状为主。

四、油水分布复杂

王官屯油田具有断块多且断块间关系复杂的特点, 不同断块之间油水系统的差异较大。官 80 断块枣二三油组油水系统较简单, 只有一套油水系统。但油水界面较多, 共找到 9 个油水界面。官 195 断块孔一段油层具有多套油水系统, 其中枣 V-6~枣 V-7 小层有统一的油水系统, 枣 V-5~枣 IV-10 小层每个小层为一个油水系统, 枣 IV-4~枣 IV-9 小层油水系统多。官 29 断块孔一段油层具有多套油水系统, 各断块之间油水界面不同。枣 II、枣 III 油组上油藏有 2 套油水系统。枣 IV 油组有多套油水系统, 其中官 922 井区有 4 套油水系统; 官 922-3 井区有 1 套油水系统; 王 16 井区有 5 套油水系统; 官 8-21 井区有 3 套油水系统。对官 38-16 块孔二 2、孔二 4 油组进行油水界面划分, 部分单砂层中未见水层的, 以该层最低一个油层底界划定油水界面。其中高部位断块满含油, 无油水界面, 低部位断块孔二段共划定 5 个油水界面。官 104 断块共 14 个断块, 分为 35 个油水系统, 其中官 104 背斜主断块有 3 个油水系统, 低部位油藏的油水界面海拔变高。王 23 断块油水界面位于枣 III-3 小层。王 27 断块油水界面位于枣 III-4 小层。官 86-46 断块油水界面位于枣 III-4 小层。官 88-46 断块油水界面位于枣 III-3 小层。官 75-51 断块油水界面位于枣 III-4 小层。王 25 断块油水界面位于枣 III-4 小层。王 104X2 断块孔一段油层具有多套油水系统, 各断块之间油水界面不同。枣 II、枣 III 油组上油藏有 1~3 套油水系统不等, 因断块而异。枣 IVs 油组整体含油, 考虑到断块的封堵性, 其油水界面不尽相同。结合单井生产数据、测井解释结果和新一轮地震构造解释, 以及断层封堵性评价, 在该断块共识别出 18 套油水系统。官 3~官 63 断块 ES1X 油层具有一套油水系统。官 142 断块中生界油层具有多套油水系统, 基本是由封闭性断层分隔。官 68 断块孔二 2 油层具有 1 套油水系统, 因在该断块孔二段中未见水, 故以油藏的最低点深度作为油水界面的深度。官 998 断块油水系统比较简单, 垂向上共有 2 套油水系统, Ek22-1 单砂层单独一套, 其他单砂层共一套。官 997 断块油水系统较为复杂, 共发育有 4 套油水系统。官 13-7 断块构造较复杂, 沙三、枣 IV、V 分别由官 13-7-1 断层与孔东断层夹持形成。其中沙三 3 位于孔东断层下降盘, 由王 15-1 和官 13-72 个小断块组成, 油水关系受断层控制, 枣 IV、V 内由官 13-8、官 14-7、官 14-18 和王 15-14 个小断块组成, 枣 IVs 基本不含油。油水关系受断层影响较大, 不同断块内油水界面不同。官 187 地区具有多套油水系统, 官 913、官 915 断块沙三 1 仅在王 34-1 井区有分布, 沙三 2 为火山岩油藏, 为岩性圈闭, 沙三 3 在北部为岩性圈闭。王 26-1 断块油水关系复杂, 发育有 11 个油水系统。官 39、官 122 块构造较为复杂, 发育有 7 套油水系统。



五、开发难度大

老油田(区块)处于开发中后期,各种开发矛盾凸显,开发难度大,以王官屯油田为例,总结为以下4点:

(1) 采出程度高、含水高,单井产量难提高。

王官屯油田经历40余年的开发,23个主力开发单元步入特高含水期,平均综合含水率为92.96%,采出程度20.1%,水淹严重,剩余油高度分散,单井产油量较低,只有2~3t/d,形成高采出程度下低速生产的局面。官104断块目前采出程度20.79%,含水已高达96.08%,其中含水大于95%的井数高达9口,含水小于90%的仅3口井。从近几年新钻井生产状况看,投产初期或投产后短期内含水即迅速上升,如官74-27井2016年1月投产后含水率已高达99.53%,2016年官78-28-2密闭取心井枣三电测解释显示不同程度水淹,但是逐层试油后为全水,表明此类高含水高采出油藏,通过常规的局部调整,或者依靠目前的开发方式已经很难改善油藏开发效果。

(2) 层间矛盾突出,油层动用程度难提高。

王官屯油田纵向上共有18个油组,46个小层,156个单砂层,初期部分区块采取分层系开发,油层动用程度较高。随着开发时间的延长,目前所有区块均为一套层系开发,由于层间物性的差异,在长井段合采过程中,层间矛盾突出,造成部分油层低动用,各断块动用程度一直在60%左右徘徊。如官104区块1991年2月分层系投入开发,油层动用程度高达80%以上,1995年底开始受井况等因素影响层系打乱,油层动用程度大幅度下降,目前油层动用程度在60%以下。为了抑制层间矛盾,提高油层动用程度,曾在不同开发时期,开展过两级三段和油套分注开发实践,由于王官屯油田原油黏度大、井筒结垢等问题,造成工艺适应性差,目前王官屯油田分注率仅为12.8%。

(3) 出砂套变影响,注采井网受损,开发效果难改善。

王官屯油田地质储量为 $11218 \times 10^4 \text{t}$,在册井网水驱储量 $8196.42 \times 10^4 \text{t}$,水驱控制程度73.06%,然而由于套漏、套变、出砂等多种原因导致油水井停产停注,造成局部井网不完善,实际水驱控制程度下降。王官屯油田在册井套变统计情况显示,开发的45个断块中有26个断块因套变影响正常生产,套变率高于20%的区块有10个,其中王26-1、官195套变率大于40%。如官68断块经过1997、2002、2006、2008年加密和扩边调整后,2008年水驱控制程度达到最高,为85.2%,后随着水井套变停注等原因,水驱控制程度逐年下降,2014年官31-63井区经过扩边调整,水驱控制程度又回升到78.3%。2016年,官31-63、官H27-65又因为落物和套漏停注,水驱储量控制程度降至目前的49.3%。油水井出砂主要集中在官29断块、官195断块枣四、枣五上油组。由于出砂,一方面,造成油井检泵周期短、油井作业频繁、生产时率低;另一方面,造成停产井、套变井多,使注采井网严重瘫痪,水驱控制程度降低。官195断块因出砂严重停产的井共有17口,水驱控制目前仅为53.67%。



(4) 特殊岩性油藏水窜严重, 油藏能量难保持。

官三、官 137、官 187 断块的沙一下油藏为生物灰岩, 储层为孔隙-裂缝双重介质, 投产初期主要依靠天然能量开采, 在投入人工注水开发后, 由于储层裂缝相对发育, 水窜现象比较严重, 只能采取缓注或间歇注水方式, 水驱效果差, 造成地层能量得不到及时补充, 地层压降较大, 目前地层总压降为 7 ~ 10 MPa。

第二节 油藏描述技术发展现状

油藏描述这项技术自提出以来, 已经过了 40 余年的发展。伴随着计算机等一些高新技术的不断更新发展, 应用于油气藏勘探开发的油藏描述技术也有了质的飞跃。从传统的油藏描述手段向现代化的油藏描述技术发展, 现代精细油藏描述技术更加综合、更加精确、更加系统、更加高效。

油藏描述技术最早于 20 世纪 70 年代末由斯伦贝谢公司提出, 是一项以测井为主体的油藏描述技术, 这是基于测井资料在油藏描述中的巨大贡献而提出的。认为电缆测井是唯一能够实现良好深度控制且能逐英尺测试的测井方法, 因而以测井资料为主的油藏描述可能具有最高的精度。同时也强调了岩心、测试及测井资料的综合应用, 得出一个适用于全油田模拟输入的储层模型, 从而实现了从单井评价到多井评价的飞跃。但是这种单一学科模式化的技术对井稀条件下的井间相关对比, 仍然不能适应复杂储集体的描述及模拟的需求。

随着勘探开发程度的不断加深, 开发难度也越来越大, 需要更加全面、系统的展示和再现地下复杂三维地质情况的技术, 20 世纪 80 年代, 油藏描述进入多学科综合发展时期。以地质为主体的油藏描述, 以物探为主体的油藏描述, 以测井为主体的油藏描述及以油藏工程方法为主的油藏描述技术都得到了迅猛的发展。

20 世纪 90 年代以来, 现代油藏描述研究的重点逐渐向模式化、量化、高度自动化转移, 加强了油藏地质模型的研究, 包括表明沉积环境、沉积序列、沉积事件及剥蚀过程, 描述储层形状、大小及内部结构的沉积模型的研究; 列出成岩序列、成岩事件、记述储层质量的演变和发展, 描述成岩作用造成的微观孔隙结构特征及非均质性的成岩模型的研究; 描述褶皱、断块、断层、裂缝的构造和位置、几何形态、展布方向及构造要素, 表明构造样式及构造组合的构造模型的研究; 描述地层流体、流体成因类型及流体在流动过程中所发生的反应和变化, 描述储层的敏感性、油层损害的地化模型的研究; 确定全油田的特征, 如油藏边界和厚度变化, 沉积和剥蚀作用造成的储层的剥蚀特征和尖灭特征, 阻碍流体流动、横向上广泛分布的页岩或胶结带, 储层内部的主要隔夹层的储层地质模型的研究; 确定高低渗透层(相带)反映不同相带上垂直、水平渗透率的分布, 为计算储层容积和预测油田及井的产能奠定基础的渗透层模型的研究; 可以计算油藏的产量、产能, 分析注水时注水前缘的推进速度及注水后残余油的空间分布, 最终可改进采收率和进行油藏



管理的定量流动单元模型的研究。

进入 21 世纪,随着计算机技术的迅速发展,油藏描述领域出现了许多新技术和新方法。裘怿楠翻译出版了《国外储层描述技术》的资料,从地质统计技术、地震技术和测井技术 3 个方面介绍了当时国际上油藏描述的最新进展,对我国油藏描述研究产生了积极的影响。张一伟等(1997)编著出版了《陆相油藏描述》,书中从油藏模型与储层模型、勘探阶段油藏描述、开发早期阶段油藏描述、开发中后期油藏描述等方面全面介绍了具有中国特色的陆相油藏描述技术。穆龙新等(1999)编著出版了《不同开发阶段的油藏描述》,书中详细介绍了不同开发阶段油藏描述的主要特点、技术要求和重点内容,同时介绍了油藏描述的主要技术。

首先,地质建模技术。建立三维定量地质模型是现代油藏描述的核心,在地质统计学基础上发展起来的随机建模技术是油藏描述中的一个最热门课题。所谓随机建模,就是利用一个地质体某一属性已知的结构统计特征,通过一些随机算法来模拟未知区这一属性的分布,使其与已知的统计特征相同,从而达到模拟储集层非均质性、预测井间参数分布的目的。随机模拟可分为条件模拟和非条件模拟,建模方法可分为离散型和连续型。随机模拟的具体算法很多,常见的有示性点过程法、马尔可夫随机函数法、截断高斯法、两点直方图法、镶嵌过程模拟法、概率模拟法、指示模拟法、布尔法、退火模拟法、序贯高斯法、序贯指标模拟法、分形随机函数法、LU 分解法等。虽然随机模拟技术已广泛地用于油藏描述的各个方面,诸如岩相、孔渗的空间分布,砂体、裂缝的预测,定量估计油藏模型的不确定性,取样设计、流动模拟过程中的敏感性分析和风险分析等,但因为各种随机模拟方法在其基本原理、复杂程度和应用条件诸方面均有所不同,每一种方法都有它的适用条件以及各自的优点和缺点。由于不同的随机模拟算法反映的区域统计参数和空间特征不同,因此在众多的随机模拟方法中,如何针对所描述地质现象和参数的特点选择合适的模拟方法,以及每种模拟方法的最佳适用条件、应用范围等,成为当今随机建模攻关的一大难题。随机建模的另一大难题是需要以丰富的储集层地质知识库和各类储集层的原型模型为基础,才能准确预测储集层特征分布。Rajesh 等(2001)以加利福尼亚州卡平特里亚地区为例,利用地质统计学方法对成熟老油田复杂地质条件含油储层进行了精细表征。研究中使用了大量数据综合统计分析,以减小储层预测的不确定性。Pyrz 等(2009)提出了一种适用于冲积扇沉积体系的基于事件的构型随机建模方法。

储集层物性动态变化空间分布规律研究技术,通过研究储集层沉积相与物性关系,来分析储集层在三维空间中的连续性和物性变化特征,对各种分析化验资料,特别是注水开发后的密闭取心资料及开发动态资料进行研究,结合吸水剖面、产液剖面和 C/O 比等测试资料,从储集层基本特征、注入水与地层流体的物理化学作用、地层温压变化油水渗流机理及影响因素等方面,可研究注水开发后储集层结构的变化规律和油水分布特征。

高分辨率层序地层学的应用层序地层学的核心在于确定等时地层格架以及时间地层框架内沉积地层的分布类型。在一个基准面旋回变化过程中形成的岩石单元是一个成因地层时间单元,通过基准面旋回的识别和等时对比,分析不同级次的陆相地层内部结构特征,



建立高分辨率的地层框架,根据低级次旋回特征进行局部地层精细对比,可以为精细油藏描述提供分层数据基础。Arum 等(2011)对高分辨率储层表征中智能地震反演的工作流程进行了分析,研究中利用井点数据约束地震数据完成反演。Emilson 等(2011)利用地震反演和神经网络技术对储层三维孔隙结构进行了预测,研究中首先利用地震反射数据建立储层岩石物理模型。

多功能综合性一体化三维油藏描述软件促进了现代油藏描述的发展。计算机技术的发展为油藏描述多学科的综合提供了最好的工具和强有力的手段。国外这方面的商业软件较多,国内也推出了许多软件,如 RICH 油藏描述软件、三维地质模型软件系统等。这些软件的共同特点是能综合应用地震、钻井、测井和地质研究提供的各种数据,进行油藏描述,建立三维地质模型,并能以二维及三维等多种方式显示其中的各种动态及静态参数分布。现在各国都在发展多功能综合性一体化三维油藏描述软件,具有多种插值方法(尤其是随机建模算法),预测能力强,充分考虑地质专家的经验和各种约束条件。

地震油藏描述技术。地震油藏描述是在钻井较少的情况下,以岩心、测井、试油、试井资料作为约束,主要利用地震资料综合确定油藏圈闭形态、大小和油气水及干层的划分,制作油层厚度、孔隙度、渗透率、含油饱和度平面图、计算储量、预测高产能区的过程。油藏模拟技术贯穿了这一过程的全部,并不时有一些新方法、新手段出现。运用人工神经网络,综合地震信息及钻井、分析化验资料来预测砂体分布、含油气情况,精度较高,与一般多因子判别法相比,具有容错性强、预测速度快等特点。

此外,就油藏描述技术本身而言,在一个油田的开发开采过程中的不同阶段,所应用的油藏描述技术也具有各自的特点。不同的勘探开发阶段,研究任务不同,资料信息类别及拥有程度不同,相应的油藏描述的任务及研究内容也不同,从而形成了油藏描述的阶段性。总体来看油藏描述可划分为开发准备阶段的早期油藏描述,主体开发阶段的中期油藏描述和挖潜、提高采收率阶段的精细油藏描述 3 个阶段。开发早期(勘探阶段)油藏描述勘探阶段的油藏描述是指第一口发现井到油田开发方案制定之前的研究与描述工作。目的是少井多探明储量及进行开发可行性评价,任务是利用少数探井、评价井及地震信息,以石油地质理论为指导,以构造地质学、沉积学、地球化学为基础,以层序地层学、地震地层学、地震岩性学为主要方法,在研究构造体系及构造样式、沉积体系及沉积相、成岩史及成岩作用、层序划分及体系域类型、烃源岩及流体地化特征的基础上,进行地层格架、构造格架、储层格架、地化格架及研究区油藏的概念模型建立,计算未开发探明储量等内容的描述与表征。主体开发中期油藏描述油田全面投入开发后到高含水(三次采油阶段)之前的这一阶段,可称为油田主体开发阶段,这一阶段所进行的油藏描述统称为中期油藏描述。这一阶段开发研究的任务是实施开发方案,编制完井、射孔方案,确定注采井别、进行初期配产配注、预测开发动态。生产一段时间后,要进行开发调整,阶段历史拟合和预测开发动态等。因此,这一阶段的油藏描述以全面进行小层划分与对比、明确砂体展布规律及砂体连通情况,进一步落实在早期油藏描述中没有确定的各种构造,从而建立静态地质模型为重点。挖潜、提高采收率阶段的精细油藏描述油田开发进入高含水后直到最后



废弃前这一阶段称为挖潜、提高采收率阶段。这一阶段由于高含水、高采出程度而引起地下油水分布发生了巨大的变化,它要求更精细、准确、定量的预测出井间各种砂体尤其大砂体内部非均质性和小砂体的三维空间分布规律,揭示出微小断层、微构造的分布面貌。该阶段油藏描述的重点是建立精细的三维预测模型,进而揭示剩余油的空间分布,提供挖潜方向,为开发方案调整提供依据。

第三节 复杂断块油藏描述技术主要内容

复杂断块油藏描述技术包括精细构造解释及地层对比,沉积微相及储层构型分析,储层特征分析及优势储层预测,油气水分布研究,三维地质建模,油藏潜力分析等6方面内容。

本节将依次就这6方面的技术要点展开分析,并以王官屯油田重点区块为例,具体阐述相应的技术操作思路及方法。

一、精细构造解释及地层划分对比

精细的构造解释和地层划分对比是油藏描述工作的基础。

首先,采用层序地层对比和非等比例对比的方法,对王官屯油田全区进行精细等时对比。综合前人研究成果,结合区域地层沉积特征、构造运动背景、气候和物源等因素,根据对地震、测井、录井资料及层序界面的分析,将孔店组地层划分为1个二级层序,在此基础上根据层序界面识别标志划分为孔三段、孔二段、孔一段下亚段和孔一上亚段4个三级层序。在层序划分基础上,结合单井沉积韵律特征,对研究区各单井进行单砂层级别统层对比划分,为精细储层研究做准备,全区从沙河街组到中生界共划分了18个油组,46个小层和156个单砂层。

其次,进行精细构造解释。为确保构造解释的准确性,我们做了大量的基础工作,并建立了基础数据库,针对该区构造单元多,岩性变化快,速度横向存在变化等特点,在工区的不同部位,选取官88、官994、官986、王43等60余口探井及重点开发井,利用其声波测井资料制作合成地震记录进行了层位标定。

根据层位标定的结果,确定了该区标准层各主要目的层的地震反射特征。

王官屯地区是孔南断裂最发育的地区之一,其特点为断层多、断块小,上下构造差异大,油气受油源断层控制,并在油源断层附近富集,该区平面上断层发育,孔东断层断面跨度大,纵向上井钻遇断点较多,构造破碎。通过对目的层进行相干数据体分析,可以清楚的显示出断层的平面分布和平面组合。

根据地震资料的分辨能力,将断层分层次来进行解释。首先对在常规地震剖面上易于识别的断层进行全区解释,完成基本的断层平面图,在此基础上,充分应用相干数据体、水平切片等解释技术,进行小断层(断距 $<20\text{m}$ 的断层)解释。



断层整体解释主要包括 2 个方面的内容, 首先应用常规地震数据体进行断层解释; 随后应用叠后处理的相干体、相位等数据体进行更加细致的解释。

对断层进行剖面解释是构造精细解释的主要内容之一, 剖面的解释不仅可以准确落实断点的位置、断距的大小等产状要素, 而且能够更加准确地确定断层断开的层位及空间展布。对于小断层的解释, 主要采取了以下几项技术措施: 多线连续并列显示, 多数据体综合解释及井震结合。最后, 进行构造特征分析, 主要分为两个方面: 一是断棱系统分析, 二是构造特征及分层系圈闭描述。由于油气常聚集在深大断裂周围, 而断层又是构造的主控因素, 深大断裂可以作为油气运移的通道, 大断裂与小断层组成油气运聚网络, 所以断层组合的合理性及构造解释的精确性, 将为下部目标优选提供可靠的保证。

二、沉积微相及储层构型分析

储层沉积微相研究工作是进行储层综合评价的基础, 也是研究储层宏观非均质性特征的重要组成部分。储层沉积相控制了砂体的分布, 对储层质量有明显的影响, 同时也是储层构型研究的基础。传统的沉积相分析与构型分析均研究沉积单元的成因及空间分布, 两者在层次、界面和维数上存在一定的差别, 但二者研究是相通的。构型研究实际是传统沉积相研究的细化和深化。因此, 沉积微相的精细研究可以说是浊积岩储层构型的基础。

储层沉积微相研究采取的思路是由单井剖面相到平面相, 最后进行沉积微相演化史研究。沉积相分析的基础工作是单井岩心相分析, 主要是对宏观上的岩性组成、岩性分类、岩性特征和微观上的岩性特征 (薄片统计)、粒度特征的研究; 在此基础上, 结合测井曲线特征及区域沉积背景, 划分单井沉积微相, 然后进行井间逐层对比分析, 即剖面相的分析, 最后进行平面相的划分和研究。除了对取心井岩心资料的分析研究外, 本次研究中还综合应用了地质资料和从测井资料中提取的、最能反映沉积相特征的定量地质参数信息, 综合研究分析沉积微相, 以提高沉积微相解释的正确率。测井资料中蕴涵丰富的地质信息, 例如从测井资料中可以定量求取储层岩性参数, 如泥质含量、粒度中值、储层厚度、砂体厚度、砂岩百分比、砂体泥质含量等, 可以利用这些参数进行综合平面微相的研究。

王官屯油田含油层系从中生界到新生界第三系沙河街组均有分布, 沉积环境复杂, 发育辫状河、辫状河三角洲、水下扇、扇三角洲、冲积扇沉积相, 不同相类型具有不同的沉积发育模式, 从横向上和纵向上系统探究沉积微相的演化特征及分布模式。横向上, 研究同一沉积环境不同微相类型空间上的展布特征; 纵向上, 研究沉积微相随时间的演化模式。

然而, 开发的中后期, 厚层砂体内部水淹严重, 沉积微相的研究不足以解释主力厚油层内部剩余油分布富集问题, 因此, 需要用构型的方法, 将储层研究进一步细化, 精细刻画砂体内部的叠置样式及隔夹层分布模式。分别以中生界官 142 断块辫状河、孔店组枣四五官 195 断块扇三角洲、孔店组枣二三官 80 断块冲积扇为例, 通过重点取心井单井构型单元识别, 根据砂体高程差异、砂体厚—薄—厚特征等进行构型单元侧向划界, 最后结合典型构型模式, 平剖组合, 分析冲积扇、扇三角洲、辫状河砂体构型的空间展布模式, 定