

油藏流场四维模型 及剩余油研究

——以胜利油田典型长期注水开发为例

○ 邓玉珍 著

YOU CANG LIU CHANG SI WEI MO XING
JI SHENG YU YOU YAN JIU

石油工业出版社

内 容 提 要

本书根据胜利油田典型长期注水河流相沉积储层在初、中、高和特高4个含水期油藏开发流体动力地质作用的特征、方式、类型、空间分布、时间演化,研究和仿真3种成因类型储层油藏中骨架场、网络场、渗流场、物理化学场、应力场和流体场在油藏开发中的特征、变化规律、控制因素及与剩余油形成、分布和演化的关系。建立油藏流场微观剩余油分布的7类12型四维动态模型。指出任何沉积类型的储层油藏在长期的水驱开发中,储层的岩石骨架网络、孔喉网络、胶结物及岩石表面性等油藏开发流体长期的作用下都发生了改造和变化,致使剩余油在流场中存在的形态、数量、富集程度和分布规律发生变化。

本书适合从事油田开发、三次采油和提高采收率研究的科研技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

油藏流场四维模型及剩余油研究:以胜利油田典型长期注水开发为例/邓玉珍著. —北京:石油工业出版社,2010.6

ISBN 978 - 7 - 5021 - 7845 - 1

I. 油…

II. 邓…

III. ① 孔隙储集层 - 流场 - 研究

② 残余油饱和度 - 研究

IV. ① TE311 ② TE327

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 103517 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)64523562 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:中国石油报社印刷厂

2010年6月第1版 2010年6月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:9.25

字数:216千字

定价:42.00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

目 录

概 述	(1)
第一节 油藏流场国内外研究现状	(2)
一、油藏宏观流场研究现状	(2)
二、油藏微观流场研究现状	(2)
三、油藏渗流场研究现状	(3)
四、剩余油分布规律现状	(3)
五、水—岩作用研究现状	(4)
第二节 油藏流场研究的技术难点	(5)
第三节 油藏流场研究内容	(5)
第一章 典型长期注水油藏地质及开发概况	(8)
第一节 胜坨油田开发概况	(8)
一、胜坨油田层序地层格架	(8)
二、胜坨油田沉积体系	(11)
三、胜坨油田油藏类型及分布规律	(14)
四、胜坨油田注水开发概况	(16)
第二节 孤岛油田开发概况	(17)
一、孤岛油田构造格架及演化	(19)
二、孤岛油田沉积体系	(21)
三、孤岛油田油气藏类型及分布	(23)
四、孤岛油田开采现状	(26)
第二章 油藏流场四维模型理论	(28)
第一节 油藏流场四维模型建模方法	(28)
一、油藏流场四维模型概念	(28)
二、建立油藏流场资料库原则和流程	(29)
三、油藏流场四维模型建模原理	(30)
第二节 长期注水油田储层参数变化规律	(35)
一、储层宏观参数变化规律	(35)
二、储层宏观剩余油分布规律	(36)

第三章 油藏岩石骨架场模型	(40)
第一节 储层岩石骨架场模型	(40)
一、储层岩石骨架场	(40)
二、油藏流场黏土矿物场	(47)
第二节 油藏孔喉网络场模型	(50)
一、储层岩石孔喉网络结构	(50)
二、骨架场和孔喉网络场演变机理	(54)
第四章 油藏渗流参数场模型	(56)
第一节 油藏渗流参数特征	(56)
一、岩石润湿性参数	(56)
二、岩石孔喉结构参数	(57)
三、渗流参数优选	(62)
第二节 油藏渗流参数场模型	(62)
一、浅水浊积储层渗流场模型	(63)
二、三角洲储层渗流场模型	(66)
三、河流相储层油藏渗流场模型	(70)
第五章 油藏物理化学场模型	(74)
第一节 油藏流场物理化学状态	(75)
一、油藏物理化学场内容	(75)
二、油藏物理化学场研究方法	(77)
第二节 油藏物理化学场模型	(80)
一、硅酸盐物理化学场模型	(80)
二、碳酸盐矿物化学场模型	(83)
三、油藏物理化学场物理模拟	(88)
第六章 油藏地应力场和流体场模型	(95)
第一节 油藏地应力场模型	(95)
一、地应力场模型	(95)
二、应力场演变机理	(102)
第二节 油藏流体场模型	(104)
一、微生物降解流体场	(104)
二、稠油砂岩松散化模拟流体场	(107)
三、综合作用沥青场	(108)

第七章 油藏流场剩余油形成机理和分布规律 (115)

第一节 油藏流场微观剩余油形成机理 (115)

 一、油藏流场微观剩余油主要类型 (115)

 二、油藏流场微观剩余油控制因素 (118)

 三、油藏流场微观剩余油形成机理 (128)

第二节 剩余油分布仿真模型 (131)

 一、剩余油分布仿真技术 (131)

 二、特高含水期油藏提高采收率技术方向 (133)

第八章 结论与认识 (137)

参考文献 (138)

概 述

油藏流场是指地下储层中的骨架场、孔喉网络场、黏土场、物理化学场、应力场、流体场及其中流体在储层中渗流状况的统称。中国东部陆相断陷湖盆内广泛发育了碎屑岩储层,这些储层的非均质性很强,给油田勘探开发带来极大的困难。目前这些油田都经过 30 余年注水开发,长期注水开发导致地下储层微观流场被改造和破坏,在储层中水驱推进过程不均匀,致使油藏参数发生变化,非均质性增强,生产矛盾日益加剧。目前多数油田已进入特高含水阶段开发,综合含水率为 80% ~ 95% 以上,要实现各油田稳油控水,提高油田采收率,必须要研究特高含水期储层的微观特征和演化,研究宏观和微观剩余油分布规律和控制因素,研究储层参数的变化规律和变化机理,同时还要研究和建立油藏流场四维动态模型和油藏仿真模型,才能揭示宏观、微观剩余油形成机制和分布规律,从而达到提高油田采收率的目的。

大量的油田(特别是长期注水开发的油田)开发实践证实,油藏开发流体动力地质作用是在不停的发生和演变,注入水对地下储层进行多种方式的动力地质作用,这些油藏动力地质作用对储层的改造和破坏是在不停的演变中,从而致使油藏开发流体动力地质作用影响的储层骨架、网络、渗流、地应力、物理化学场和流体场等各种参数也是在不断地变化。这种变化造成地下储层结构和储层性质都发生复杂的变化,从而也致使特高含水期剩余油宏观和微观形成分布进一步复杂化,但这种变化并不是混乱的,而是有一定的规律可循。

油藏流场四维模型及剩余油研究过程中采用多学科的理论和方法技术,配套四维数据体,综合研究和揭示注水开发长达 44 年之久的胜坨油田胜二区 1^2 小层的浊积岩储层和 8^3 小层的三角洲储层及注水开发长达 37 年之久的孤岛油田中一区馆上段 3^5 小层河道砂储层,在初、中、高和特高 4 个含水期,研究在不同含水阶段油藏开发流体动力地质作用的特征、方式、类型、空间分布和时间演化规律,研究和仿真两类储层油藏开发流体动力地质作用、伴生的油藏储层骨架场、网络场、渗流场、物理化学场、应力场和流体场 6 类油藏流场及其在油田开发过程中的特征、变化规律、控制因素和剩余油的关系,进而建立油藏开发流体动力地质作用形成的油藏流场的 6 场地质模型,揭示油藏流场中的特高含水期剩余油微观形成机理和分布规律。研究宏观、微观和渗流 3 大类参数和油藏流场变化规律的表征理论、方法和技术,建立油藏宏观、微观、渗流和流场四维数据体,揭示油藏中宏观和微观剩余油在上述 4 个含水期,特别是特高含水期的主要类型和空间分布,从而指导油田开发,为提高油田采收率服务,深化和发展陆相断陷湖盆油藏描述的理论和方法,深化和发展了陆相断陷湖盆油田开发地质学的新理论、新方法、新技术,具有重要的理论意义和实用价值。

第一节 油藏流场国内外研究现状

对于长期注水开发油田储层参数变化规律和变化机理,国内外学者已做了大量的研究工作,采用多种方法,试图从不同角度、侧面来探讨储层参数变化规律和变化机理,从而揭示微观分布规律。但总的来看从一维、二维定性研究储层参数变化规律较多,而从三维定量研究相对较少,尚未见从四维空间揭示储层参数变化规律和机理。多数学者从储层宏观参数研究变化规律较多,尚未见有人将宏观、微观、渗流和物理模拟4大类参数结合,研究不同含水期参数变化规律及剩余油宏观、微观形成机理和分布规律。多数学者从单一信息或单手段研究较多,很少有人将地质、地震、测井、油藏工程、动静态资料与渗流参数和物理模拟相结合来研究和揭示不同含水期储层参数变化规律、变化机理及剩余油的关系。国内外未见研究不同含水期油藏流场的骨架场、网络场、渗流场、物理化学场、应力场和流体场6场的特征和变化规律及与剩余油的关系;未见宏观、微观和渗流相结合,动静结合,二维、三维和四维相结合,研究物理化学场、应力场和流体场的特征、分布、演化和与微观剩余油的关系;未见应用仿真的理论和方法来研究和仿真不同含水期储层3大类参数和剩余油变化规律及动态变化过程;未见建立长期注水开发油田储层参数在不同含水期的四维数据体和四维油藏地质模型来预测剩余油的分布。目前国内外学者对油田长期注水开发后储层物性参数变化机理和变化规律研究做了大量的工作,取得了很多成果。

一、油藏宏观流场研究现状

储层宏观参数包括孔隙度、渗透率、粒度中值、含油饱和度等,这些参数的变化规律受微观变化规律和变化机理的影响,目前进行宏观参数研究的人较多,研究的成果也很丰富,总的来看,宏观参数变化有如下规律:从室内用长短岩心长期注水冲刷实验及不同阶段取心并岩心分析数据对比看出,储层被注水冲刷及水淹后岩石孔隙度变化有增有减,高、中渗岩石孔隙度大多呈增大趋势,中低渗岩石孔隙度呈减小趋势,但增减幅度较小,一般均在测量允许的误差范围内,但部分油田水淹前后的取心并岩心统计表明,孔隙度增大。长期注水冲刷后储层岩石渗透率变化较为复杂,各油田因实验条件、研究方法及储层地质条件的不同,所形成的认识也不尽相同。有的油田研究表明渗透率随注水程度加深而增大,而另一些油田研究则认为渗透率随注水开发程度加深而缓慢的减小。对含油饱和度参数变化规律的认识比较一致,各类油田含油饱和度均是随着注水开发程度的加深而减小。

二、油藏微观流场研究现状

微观参数研究是储层参数变化规律研究的重要内容之一,这方面的研究始终是储层研究的热点和难点,至今开展这方面研究工作的较少,随着油田注水开发阶段的加深,储层中孔喉发育和孔喉网络的关系顺序为全部的点线接触—部分点线、分离式接触—分离、飘移式接触—全部飘式接触,同时胶结物、地层微粒、黏土矿物含量也随着减少,流体的数量和成分也随着发生变化。总的来说,流体性质变差,数量减少,储层物性变好。微观参数变化机理是油藏流场演变和油藏开发流体动力地质作用形成,利用该新思路研究储层微观参数的变化机理和变化规律,可以揭示剩余油微观形成机理和控制因素。

三、油藏渗流场研究现状

渗流参数变化规律和变化机理研究,难度很大,工作量也很大,目前研究的数十个参数来看,随着油田长期注水开发阶段的加深,含水量增加储层渗流参数物性向好的方向变化,其中孔隙形状因子变大,地表面降低、孔喉比变小、孔隙均质程度变好、孔喉半径增大、分选性变好,连通性、控油能力变好,即最终导致孔喉均质程度增高。

四、剩余油分布规律现状

宏观和微观剩余油分布研究是一项世界性学科前沿难题,已经成为国际学术会议如世界石油大会、国际储层表征会议以及 SPE、AAPG 等组织专业性年会讨论的重要主题之一。国内外有关剩余油分布研究重点主要集中在以下 3 方面:

1. 剩余油分布规律研究现状

据国外大量的研究表明,油藏中剩余油分布形式与数量如下:(1)存在于注水过程中水未洗到的低渗透夹层中,或者是水绕过的低渗透带中的剩余油,这种类型的剩余油量约占 27%;(2)由于地层压力梯度小,在油不流动的油层部位(滞流带)中存在的剩余油,占 19.5%;(3)未被钻到的透镜体中的油,占 16%;(4)在一些小孔隙中被毛细管力束缚的剩余油,占 15%;(5)以薄膜状的形式存在于储层岩石表面上的剩余油,占 13.5%;(6)局部不渗透的遮挡(如封闭性断层等)处的剩余油,占 8%。

据国内有代表性学者现有研究分析,高含水后期和特高含水采油阶段剩余油的分布主要有以下几种类型(韩大匡,1995 年):(1)不规则大型砂体的边角地区,或砂体被各种泥质遮挡物分割所形成的滞油区;(2)岩性变化剧烈,主砂体已大面积水淹,其周围呈镶边或搭桥形态存在的差储层或表外层;(3)现有井网控制不住的砂体;(4)断层附近井网难以控制的部位;(5)断块的高部位,微构造起伏的高部位及切迭型油层的上部砂体;(6)井间的分流线部位;(7)正韵律厚层的上部;(8)注采系统不完善,如有注无采,有采无注或单向受效等遗留的剩余油。

总之,在宏观上剩余油主要分布在注入水未波及到的或者波及程度比较低的部位,在微观上主要因储层润湿性、油藏流场演变和驱油效率低等遗留的剩余油,剩余油形成与分布主要受沉积相、构造、储层非均质性、润湿性及井网条件等综合因素的控制。

目前对剩余油分布规律的认识较全面,但有简单化的趋势,有千篇一律之嫌。多认为剩余油主要分布在:(1)边缘相带,如河床边缘、堤岸相带、边边角角、低渗透差储层或表外储层;(2)封闭性断层附近、构造高部位与微构造起伏的高点;(3)正韵律厚层的上部;(4)井间分流线、井网控制不住、注采系统不完善的部位等。若与实际地质模型进行对比分析,在有关剩余油形成与分布规律的认识上还很不深入,存在简单化现象。特别对特高含水期河流相储层来讲,剩余油形成与分布极为复杂,目前在认识上尚未突破。若剩余油形成与分布很简单,国内外石油界就不会投巨资来测定、监测和预测剩余油的分布,同时特高含水期剩余油采收率提高也会很容易了。

2. 确定剩余油分布的方法和技术

国内外学术界均非常重视研究和发展剩余油饱和度的测定和监测技术,目前主要采用

了取心技术、开发地质学方法、测井、地震、油藏工程技术等,多学科综合方法技术来测定或监测不同类型油藏中剩余油的空间分布位置,这也是正在发展的国际学科前沿的难题。

五、水—岩作用研究现状

水—岩作用是近 20 年国际上活跃的研究领域。国际专题讨论会召开 8 次,1992 年,美国黄石公园召开的第 7 届会议影响最大,涉及地热系统、环境污染、核废料处理等诸多领域的水—岩反应。1992 年日本东京召开的第 29 届和 1996 年中国北京召开的第 30 届国际地质大会都将流体—岩石相互作用作为专题讨论。第 30 届国际地质大会汇集了“流体—岩石相互作用和机理”论文 55 篇、开放体系中矿物溶解和化学动力学论文 15 篇。1990 年,美国地球化学联合会召开了主题为“地表规模的流体搬运:量级与机遇”学术会议,英国皇家地质学会组织了主题为“俯冲带流体的行为和影响”大型学术会议。1993 年,在英国格拉斯哥召开了地质流体的专门会议,出版了《沉积盆地地质流体:成因、运移和演化》一书。该书收集了大陆边缘和大陆内部大规模的流体流动、变形与流体流动的关系、流体流动与储层演化的关系、流体化学、金属—有机质相互作用、流体演化以及烃类和金属的运移和沉淀、流体演化的示踪剂等内容。可见流体—岩石相互作用受到很大的重视。目前,世界上许多大型盆地都开展了这项研究,如北海油田大陆架、加拿大西部阿尔伯塔盆地、美国加州 San Joaquin 盆地、伊利诺斯盆地、东俄亥俄盆地、墨西哥湾盆地、得克萨斯盆地西南部海湾沿岸(Gulf Coast 等。国内徐学纯(1995 年)提出,流体地质学(流体—岩石相互作用为重要研究内容)可为一门独立的学科存在。可见,国内外学者都已注意到了这一研究领域在地球科学中的重要地位。前人的研究主要是研究水和岩石的溶解、沉淀、吸附、离子交换作用,尚未见长期注水开发油田中油藏流场的骨架场、网络场、物理化学场、应力场和流体场等 6 场如何伴随开发阶段的加深而演变和改造及对储层微观剩余油机理和分布规律的控制,以及对储层中可动油的控制等。

水—岩作用可导致地应力变化,有的学者从油井套管损坏、报废这个方面来研究注水开发油田地应力场的变化,如苏联的巴拉哈内萨布奇拉马宁油田,因地应力场变化,引起现代地壳运动,自 1937 年至 1982 年,套管损坏和破裂报废 3200 口井;美国的威明顿油田,1974 年地震后,因地应力场改变,引起断层活动或产生新断裂,3 年内套管损坏井达 300 多口;美国的密西西比南帕斯(Suofh pass)27 断块油田,在钻遇断层的 250 口井中,至 1971 年底,已有 54 口井损坏,其中 21 口井报废;1963—1968 年,在苏联第聂伯顿涅茨盆地、外喀尔巴阡山、伏尔加格勒等地区的含盐层段发现有 35 口井套管损坏。有的学者从油井化学场变化、产能变化和地震前兆来研究应力场变化。有的学者将综合研究与实验相结合来研究注水开发油田的储层的应力敏感性、固液耦合作用及对储层物性及流体的影响,深化和发展了油藏流场应力场研究,指导了油田勘探和开发。

应力场和渗流场变化又对压力场有影响,固液相互影响称为耦合。20 世纪 40 年代,Terzaghi 最早研究可变形饱和介质中流体的流动;之后,Biot 对三向变形材料与孔隙压力的相互作用深入研究;20 世纪 80 年代之后,岩土工程领域对固液耦合做了大量工作,多研究中高渗储层。目前,世界石油低渗透储量比例越来越大。开发实践表明低渗透油田油层孔隙度、渗透率随上覆压力变化明显,即固液耦合效应较中高渗透油田强很多,应进行储层应力

敏感性研究,一方面证实固液耦合作用存在,另一方面,考虑岩体流变性,即储层蠕变、松弛和长期作用强度降低等现象,试图从低渗透油田开发效果和一些边界油藏能否有效动用角度,探讨低渗透油田不同物性参数储层对应力敏感程度,流固耦合利弊和界限进行分析,进而揭示对储层润湿性、油水驱替力、驱替速度、孔喉大小、分选性、均匀程度和连通程度对剩余油形成分布的控制作用。

第二节 油藏流场研究的技术难点

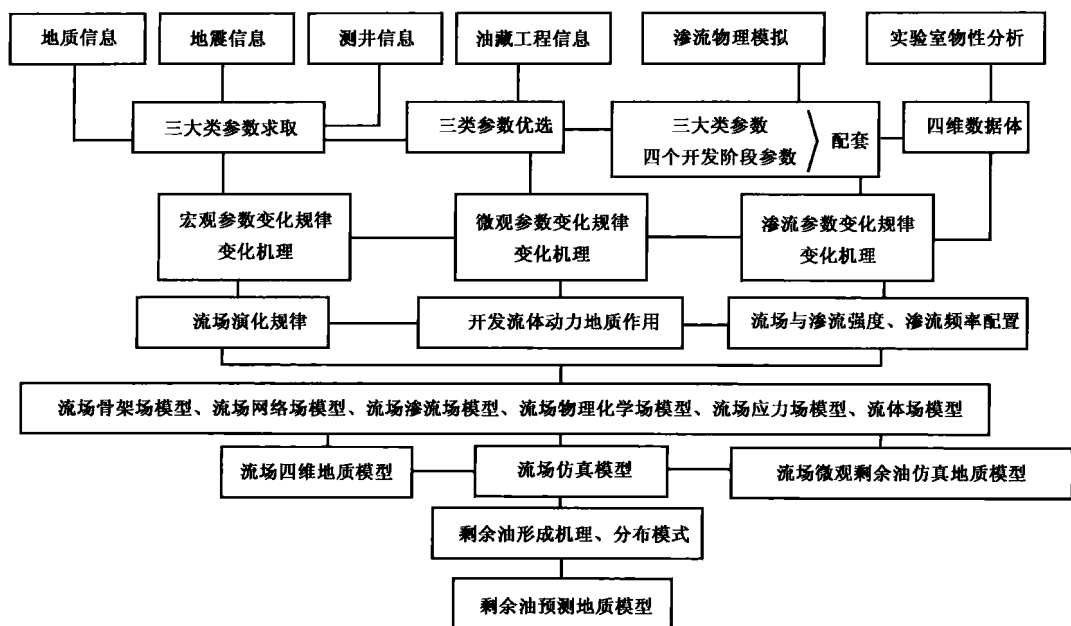
综合应用石油地质学、沉积岩石学、构造地质学、地球动力学、晶体表面物理学、水动力学、渗流力学、物理化学、地质统计学等多学科的理论、方法和技术,应用油藏动静态资料和计算机手段,采用定性和定量相结合、宏观和微观相结合、油藏精细动静描述相结合、综合研究和物理模拟相结合,油藏三维和四维研究表征相结合,研究胜二区沙二段¹²砂组浅水浊积相储层、⁸³砂组三角洲相储层及孤岛油田中一区馆上段³⁵、⁴⁴河道砂储层的油藏,在长期注水开发过程中4个含水期油藏开发流体动力地质作用的主要方式、变化规律和控制因素,从宏观到微观揭示不同层次的油藏开发流体动力地质作用中的物理化学作用、生物化学作用和应力作用等方式,及在油田长期注水开发过程中的发展演化和运动规律。建立油藏开发流体动力地质作用的骨架场、网络场、渗流场、应力场、物理化学场和流体场模型、揭示剩余油微观分布规律和控制因素,建立剩余油分布和仿真模型,预测可动剩余油微观分布规律,为提高油田采收率提供科学依据。

技术难点:

- (1)不同含水期三类储层油藏流场宏观、微观、渗流三大类参数求取、优选和配套。
- (2)不同含水期三类储层油藏流场三大类参数变化规律和变化机理研究。
- (3)不同含水期三类储层油藏流场三大类参数变化规律、机理与剩余油形成分布相关性。
- (4)不同含水期三类储层油藏流场骨架场、网络场、渗流场、物理化学场、应力场和流体场特征、演化规律、形成机制和对微观剩余油形成分布的控制。
- (5)开展不同含水期油藏流场表征和仿真方法技术研究及软件研究。
- (6)油藏流场四维地质模型建立理论、方法技术和油藏流场四维仿真地质模型实现。
- (7)不同含水期油藏流场微观剩余油研究、表征、仿真和预测配套技术研究。

第三节 油藏流场研究内容

- (1)不同含水期三类成因储层宏观、微观、渗流三大类参数求取、优选和配套。
- (2)胜二区沙二段¹²砂组、⁸³砂组和孤岛油田中一区馆上段³⁵、⁴⁴小层河道砂储层,油藏开发流体动力地质作用宏观动态地质模型和宏观剩余油研究:综合应用地质、测井、油藏工程等信息,最大限度地应用计算机手段,研究油藏的宏观特征、非均质性、时空演化的规律,建立油藏宏观动态模型,揭示剩余油宏观和微观分布规律,建立特高含水期剩余油微观分布模式。



油藏流场四维模型描述表征流程图

(3) 胜二区沙二段1砂组、8砂组和孤岛油田中一区馆上段3⁵、4⁴小层河道砂储层,油藏开发流体动力地质作用微观动态模型研究:储层孔隙是油藏开发流体动力地质作用产生的地质环境,是最常见的流体存储空间和运移通道。充分利用岩石薄片、电镜扫描、图像分析、“CT”切片和注模实验等先进的方法和技术,深入地系统研究和表征储层孔隙结构的复杂性,揭示不同类型储层流场中的孔喉骨架场、孔喉网络场、地层微粒、黏土矿物场和流体场等在初、中、高及特高含水阶段的主要特征和变化规律,揭示油藏开发流体动力地质作用在不同含水阶段对油藏流场骨架场、网络场、渗流场、物理化学场和流体场特征、分布和演化的控制,从储层微观角度揭示开发流体动力地质作用对特高含水期流场中剩余油微观形成和分布的控制作用,阐明特高含水期流场中剩余油的微观形成机理和分布规律,预测剩余油的分布(见上图)。

(4) 岩石物理模拟研究:应用现代最先进的岩石物理模拟理论和方法,模拟浊积岩、三角洲、河道砂等储层在不同水介质和不同水动力条件下对储层流场中孔喉网络场、骨架场、胶结物、黏土场和流体场的改造和破坏作用及对特高含水期剩余油微观形成机理和分布规律的控制作用。

(5) 胜二区沙二段1砂组、8砂组和孤岛油田中一区馆上段3⁵、4⁴小层河道砂储层油藏流场特高含水期剩余油微观分布模型、形成机理和控制因素研究:综合应用上述成果,从宏观到微观,从定性到定量,描述和表征油藏流场中剩余油微观分布,建立特高含水期流场中剩余油微观分布的模式,进而指导油田的开发。

(6) 不同含水阶段油藏流场动态模型研究:应用多学科理论为指导,综合多种信息,研究不同含水阶段油藏流场骨架场、网络场、渗流场、物理化学场、应力场和流体场特征、分布、演化和微观剩余油的关系。

(7)油藏流场研究、描述和表征方法技术及软件研究:综合应用多种信息和手段;最大限度应用计算机技术;将宏观、微观和渗流相结合,动静结合,二维、三维和四维结合,物理模拟和仿真相结合;来研究、表征和仿真油藏流场在不同含水期特征和演化改造。

(8)胜二区沙二段1砂组、8砂组和孤岛油田中一区馆上段3⁵、4⁴小层河道砂储层油藏流场剩余油仿真模型研究:应用数字方法及可视化理论及计算机仿真技术,建立油藏特高含水期微观剩余油的可视化模型及仿真模型,揭示不同含水阶段胜二区沙二段1砂组、8砂组和孤岛油田中一区馆上段3⁵、4⁴小层河道砂储层分布规律,为剩余油微观预测提供量化的模型和科学的依据。

(9)胜二区沙二段1砂组、8砂组和孤岛油田中一区馆上段3⁵、4⁴小层河道砂储层油藏特高含水期微观剩余油描述理论技术研究:以多学科的理论为指导,充分应用计算机技术,建立一套适应于浅水浊积相、河流相和三角洲相储层开发的流体动力地质作用研究、描述、表征的理论、方法和技术,指导油田开发。

第一章

典型长期注水油藏地质及开发概况

第一节 胜坨油田开发概况

胜坨油田位于济阳坳陷的东营凹陷中央隆起带北侧(图 1-1),坨庄—胜利村—永安镇断裂构造带的西段,北面为陈家庄凸起,东面临垦东青坨子凸起,两凸起均系花岗片麻岩的古凸起。西南面为利津生油洼陷,东面为民丰生油洼陷,南与中央隆起带的东辛油田相连。胜坨油田是胜北大断层下降盘上的逆牵引背斜构造,东西长 15km,南北宽 4.0~7.5km,具有优质生油区和丰富的物源供给区,而且它又具有良好的油气封闭条件,因此胜坨油田是胜利油区的一个油源、物源丰富的含油气区。

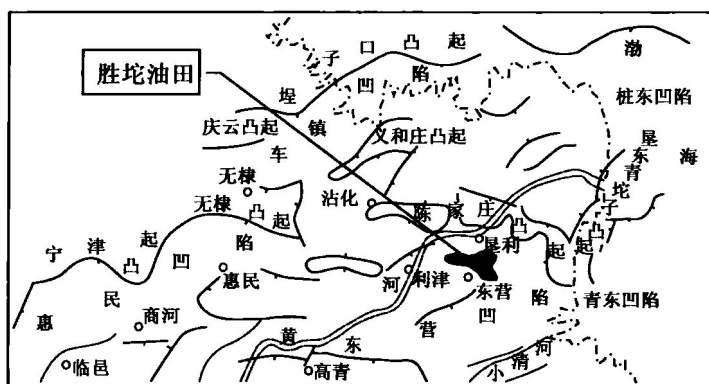


图 1-1 胜坨油田区域位置图

胜坨油田断层将该区分为 3 个含油区,其中胜二区断层最少,相对较为完整,总面积 24.7km^2 ,地质储量 $12156 \times 10^4\text{t}$,占胜坨油田总储量的 26%,占胜坨油田总面积的 34%。

一、胜坨油田层序地层格架

胜坨油田地层发育较全(图 1-2),古近系分述如下:

1. 古近系沙河街组四段(Es4)地层格架

中、下部岩性为浅灰色硬石膏层,褐灰、深灰色泥岩及软泥岩成不等厚互层。含膏盐井段大于 1000m,(东风 2 号井 150m),盐岩、石膏单层厚 10m 以上。顶有薄层灰黑色页岩和黑

色白云岩;中夹灰黄色杂卤石,浅灰黄色钙芒硝层;底有深灰、灰绿、紫红色泥岩与浅紫红、暗紫色白云质粉砂岩,灰质粉砂岩,局部有方解石脉。盐岩地层中常见1~3mm泥砾(东风2号井描述为泥柱),局部成层排列。埋深3770~4152.5m。

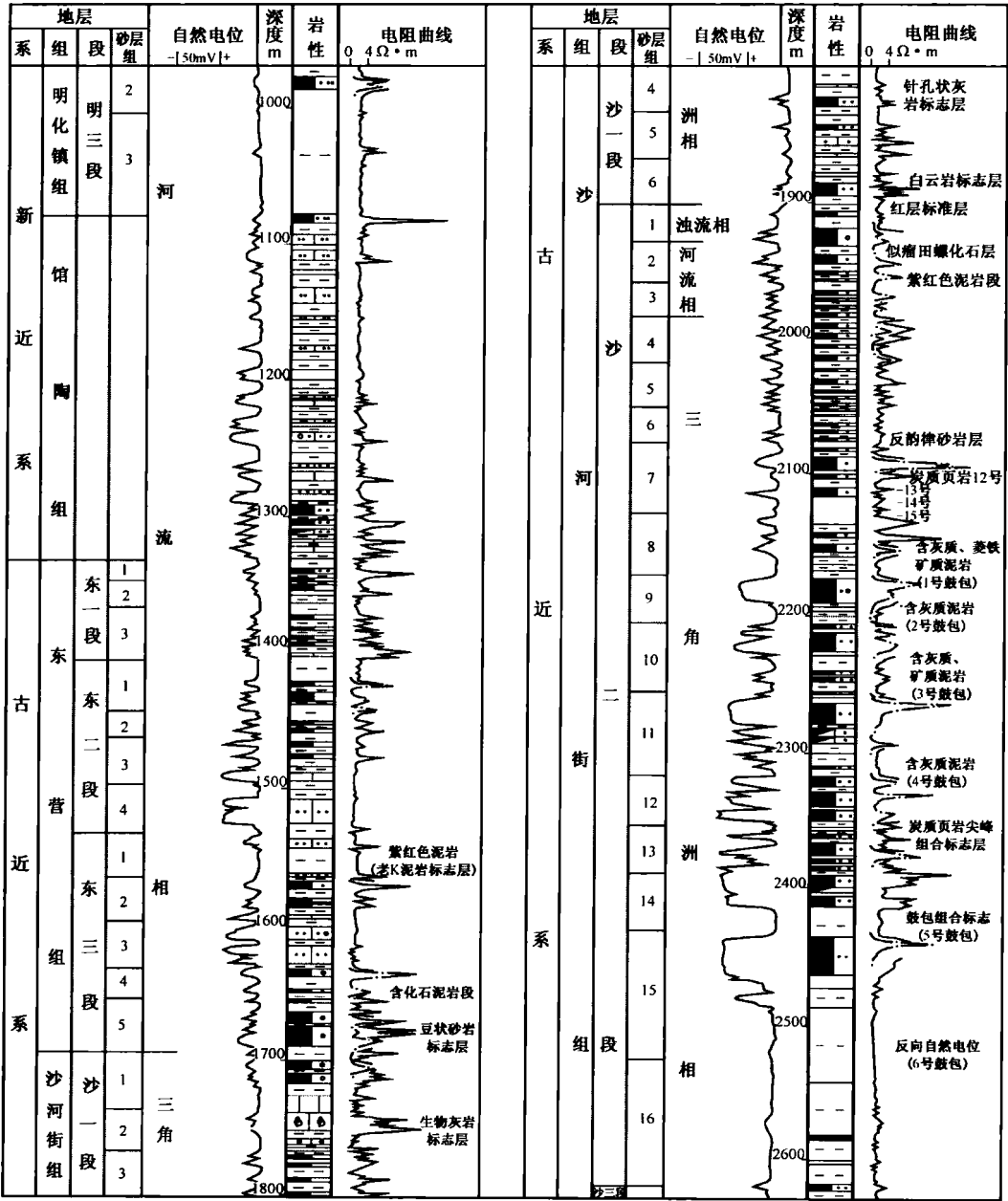


图 1-2 胜坨油田综合柱状图

沙四段下底部深灰色,杂色,灰白色沙砾岩,底砾岩。砂岩成分以石英、长石为主,少量岩块,含暗色矿物,分选差,石英砾成次棱角状,普遍含较多白色高岭土片。该段地层见少量

孔店组孢粉化石,故亦可划归沙四段—孔店组,埋深 4152.5m。

上部岩性为深灰色页岩与褐灰色泥岩互层,夹黑色油迹白云岩,各类岩质纯,致密坚硬、性脆,加酸起泡,含较多隐晶质黄铁矿。由浅灰、深灰、褐灰色组成平直状微细层理,细层 1~2mm,层系 2~4mm,局部夹方解石脉及浅灰色砂条。埋深 3515.0~3770.0m。

2. 古近系沙河街组三段(Es3)地层格架

下部岩性为深灰色,褐灰色泥岩为主,夹油页岩。埋深 3150.0~3515.0m。

中部岩性以灰色,褐灰色泥岩为主,夹不规则砂岩透镜体。埋深 2505.0~3153.0m。

沙三段上亚段地层是胜坨油田二、三区主要含油层系,占油田储量 30.37%。划分了 8 个砂层组,即 8~15 砂层组,各砂层组呈反旋回特征;其岩性上部为厚层或块状粉、细砂岩,顶部偶夹薄层含砾、砾状砂岩。下部灰—深灰色质纯泥岩,泥岩段中下部夹厚约 4~6m 均匀含钙、含菱铁矿的深灰色泥岩段,测井曲线电阻略高,特征明显,称“鼓包”标志,按所在砂层组自上而下编号。该段地层埋深 2138.0~2505.0m。

沙河街组三段中亚段,下部是主要生油层系,底部油页岩段是区域标准层,即地震第六反射层(T_6)。

3. 古近系沙河街组二段(Es2)地层格架

该段地层是胜坨油田主要含油层系,占油田地质储量 43.91%,划分 7 个砂层组,其岩性 1~3 砂层组紫红色泥岩夹灰绿色砂质泥岩,砂岩粒级粉—细—粗,底部含砾或细砾岩。具有三组标志依次为介形虫泥岩段;旋脊似瘤田螺化石组合段;紫红色泥岩段。它们分别在电性特征上有明显响应。4~7 砂层组岩性为紫红色、灰绿色、灰黄色泥岩薄层间互,杂色团块较多,砂岩呈透镜状细砂岩,局部地区砂岩底部发育细砾岩。该套地层夹多层碳质页岩,较稳定分布的有三层,即 12,13,14 号电阻尖峰标志,该段地层埋藏深度 1910.6~2138.0m。

4. 古近系沙河街组一段(Es1)地层格架

(1)第四至六砂层依次为泥质白云岩组(上)厚 35m,深灰色泥岩为主,夹三组薄层灰岩;灰岩类型组厚 45m 上部二层泥灰岩,中部 5~6 层白云岩生物灰岩鲕状灰岩,下部二层致密灰岩;泥质白云岩组(下)厚 30m,为深灰色泥岩夹黄灰色薄层泥质白云岩,中下部夹三层质纯灰白色白云岩,该白云岩在胜三区北部变为含油砂岩。

(2)沙一段第三砂层组凹形泥岩组,厚 30m 左右,顶部为一层鲕状生物灰岩,紧接一组泥质长石粉砂岩夹灰质砂条。中部和下部全为灰色泥岩夹两薄层灰岩,该灰岩于胜二区变为砂岩并为油层,胜一区为气层,底部灰白色针孔灰岩,孔洞最大达 2~3cm,洞内含油呈油斑状,厚度稳定 2~3m,电性特征明显。

(3)沙一段第二砂层组生物灰岩组,厚 30m 左右,顶部一组 1~3 层生物灰岩,呈显微—隐晶结构,含生物碎片 30%,部分变为鲕状灰岩,中心体为多生物碎片,紧接生物灰岩下为一组灰白色含泥质长石细砂岩,含砾。该组砂岩变化较大,在胜二、三区均含油。中下部厚层灰色泥岩为主夹 1~3 薄层生物灰岩或鲕状灰岩,本组是区域性标准层和地震第二反射层(T_2)。

(4)沙一段第一砂组豆状砂岩组厚 40~50m,上部为两组较发育的暗棕褐色含油细粉砂岩夹薄层灰白色灰质砂岩,砂岩矿物分石英(55%~58%),长石 38% 左右,砂岩胶结疏松,

分选较好。下部灰色泥岩夹薄层灰岩及粉砂岩。本砂层组是沙一段主要含油段,其埋深 1709.5 ~ 1918.6m。

5. 古近系东营组(Ed)地层格架

(1)东营组东三段岩性主要为灰白色浅灰绿色高岭土质砂岩夹灰绿紫红色含砂泥岩。本段分 5 个砂层组,除一区不含油外,胜二、三区 4、5 砂层组为主力油层。以大、小豆砂岩为控制,界线落实在感应极大值,埋藏深度 1533.0 ~ 1709.5m。

(2)东营组东二段岩性以杂色、暗红色、灰绿色砂质泥岩和砂岩成不等厚互层。向下砂岩集中单层加厚,下界划在紫红色泥岩顶,俗称老“K”泥岩,自然电位曲线平直段约 20 ~ 30m,埋深 1408.0 ~ 1533.0m。

(3)东营组东一段为棕红色,紫红色泥岩,砂质泥岩夹灰白色粉细砂岩。砂岩成分以长石为主,分选差,含砾。高岭土普遍充填于颗粒之间,中部以下绿色泥岩增多,有杂色泥岩之称,底部为一组含砾砂岩及细砾岩,是胜三区东营组主力含油段,往一、二区岩性变粗,以含砾砂岩、细砾岩、泥岩组成不等厚互层,不合油。顶界以一组厚砂层(通称“胖砂岩”)控制,大部分地区缺该套地层。

二、胜坨油田沉积体系

本书研究的目的是沙二段的 1² 和 8³ 小层,故下面仅论述目的层沙二段 1 砂组和 8 砂组的沉积体系和砂体特征分布。

沙二段是在继续沙三段沉积同一期沉积旋回的基础上,由沙三段的较深湖相渐变为三角洲相的沉积,8 砂组正处于这套旋回的中期,湖水自东向西退却,湖岸线自东向西推进,数套碎屑物质自东向西呈进积式建设型三角洲沉积,此时期湖盆中生物化石种属繁多,如遍及渤海湾地域的中国华北介标准化石层、扁平盘螺等一系列化石组合。之后湖盆东部逐渐抬升,湖水向西退却,湖岸向西推进,胜二区在 4 ~ 7 砂层组沉积时为三角洲平原亚相,而西部胜一区为巨厚的三角洲前缘砂体沉积。到 2 ~ 3 砂层组沉积时整个油田为泛滥平原河流相沉积。这是从沙三段至沙二段的第一旋回期。继后湖盆下沉自西向东湖水淹没全区,成为较平静的湖盆沉积,在暗色泥岩中发育种属极多的各种化石群,如旋脊似瘤田螺、粗壮似黑螺、博兴假玻璃介、瓣鳃类等 20 多个种属的生物化石层称为第二化石层,又开始了新一个旋回期,即是沙二段第 1 砂层组开始至古近系、新近系馆陶(Ng)、明化镇组(Nm)沉积期,是一次由湖进至湖退的第二沉积旋回期。

在沙二段第一砂层组底界第二化石层沉积后连续有几套零星碎屑物质沉积,之后又是一套灰色泥岩,其中有种属与第二化石层类同的生物化石富集,称第一化石层。这是一个较平静的湖盆环境。相继由于北部坨一胜一永二级构造带的主断层活动加剧,带动次一级断层活动。产生于沙二段结束于东营组沉积期的胜北弧形断层是控制胜坨油田的主断层,由于它的活动加剧,在沙一段时期落差达 350m,东营组时期落差达 500m,延伸长度达 50 ~ 60km,由于它的活动带动东西部的次一级断层活动,北部陈家庄凸起物源区风化剥蚀,碎屑物直接倾入断层下降盘的胜坨油区,油区东北部为水下扇、洪积扇等沉积,西部满载碎屑物质的高密度重力流涌入扩展到低密度的湖盆水体中形成数套重力流、密度流碎屑岩体。一般厚 4 ~ 6m,这套碎屑中也含有瓣鳃类及介形虫化石,这套岩体沉积后有一套厚 3 ~ 4m 的质

地细腻的紫红色泥岩沉积,据有关资料鉴定这套红层可能是大陆形成的红色沉积物被搬运入湖,迅速埋藏形成的。故通常所谓的红层不一定都是陆相沉积。在第1砂组顶的这套红色层中含介形虫、藻类化石,如湖花介、直似玻璃介、小玻璃介等,已经证实不是氧化环境泛滥平原相的产物。此套物质沉积后湖水继续变深且略有咸化,沉积10~20m的白云岩,进入沙一段沉积时期又是一次生物繁殖期,之后则是古近系末期的东营组的河流、三角洲沉积,直至新近系馆陶组、明化镇组的泛滥平原相,完成了又一次从湖进到湖退的旋回期。

1. 第1砂组 1^2 层砂体特征和分布规律

(1)砂体特征。

第1砂组是在胜坨油区第二次大规模水进的基础上沉积的物质, 1^2 层属于第1砂层组沉积末期。这套砂体有4个特点。

①砂体一般厚4~6m,最厚可达8m,底部为灰色具丰富化石的湖相泥岩(第一化石层),砂体呈正韵律或复杂式正韵律粒序与底部泥岩呈突变接触,有扰混现象,大部分砂体有4种正韵律形式:

a. 自上而下为砾状砂岩,含砾砂岩占了剖面的大部分,顶部渐变为中、细砂,泥质粉砂,以2-5-J1502井为代表。

b. 复杂式正韵律,即两次由粗变细的剖面,由含砾砂岩、粉细砂岩组成,以2-2-J1502井为代表。

c. 底部细,中下部变粗向上依次变细的正韵律,底部中、细砂岩,往上含砾砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩,以2-2-178井为代表。

d. 自下而上细砂、粉砂、泥质粉砂岩,以2-1-J1662井为代表。

②底部与下覆泥岩接触处能见重荷膜。

③砂体递变层理清楚,由粒序组成的递变层理在剖面上都能见到,砂体上部细砂岩中有水平层理和不连续的波纹层理。

④砂体中下部见有瓣鳃类及介形虫类化石。

以上这些特征与鲍玛提出的浊积岩层序相似,以下为相似处:

A段:底部含砾石粒序递变层段,粒度自下而上从粗至细,一般正递变,反映浊流能量逐渐减弱,底面有冲刷充填构造。A段厚度大,代表递变悬浮搬运的产物,与2-5-J1502井的 1^2 层很相似。

B段:下平行纹层段与A段有渐变关系,比A段细,多为中、细砂,有平行纹层,有片状矿物定向分布,这在薄片中能見到,如黑云母的定向排列与粒度纹层方向一致。

C段:以粉砂为主,也有泥质粉砂,具波纹层理,B段与C段为连续过渡型,如2-2-178井 1^2 层。C段若与下伏鲍玛单元呈突变接触,则其间有冲刷面。C段成因机理有人认为是A、B段沉积后,浊流转变为低密度流,出现牵引水流所致。

D段:上平行层理层,由泥质粉砂岩和粉砂质泥岩组成,具断续平行纹层,与C段连续过渡,厚度不大,在上述几种类型的剖面上均可见到。

E段:为泥岩段,与D段为过渡沉积。

F段:湖相泥岩段。

这套鲍玛序列有完整的也有不完整的,它们的完整程度由浊流的频率和强度所决定。