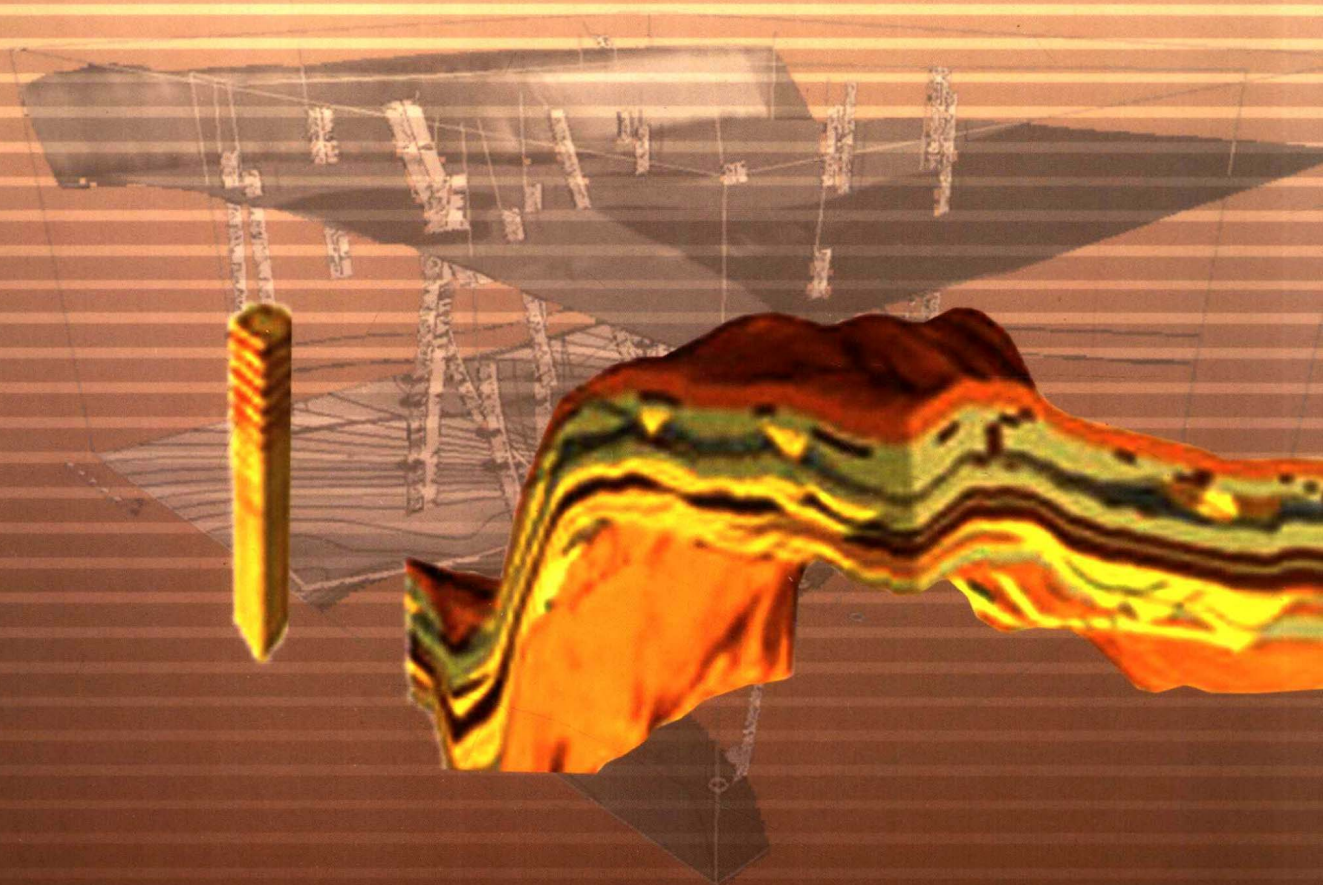


刘文业 著

注聚油藏 动态模型及剩余油分布

ZHUJU YOU CANG DONGTAI MOXING JI SHENGYUYOU FENBU



石油工业出版社

注聚油藏动态模型及剩余油分布

刘文业 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书综合应用多学科理论和方法技术,应用计算机技术,系统深入研究和揭示了分流河道砂储层长期高压注水、注聚后宏观、微观、流场演化机理和演化规律,建立油藏宏观、微观、流场动态演化模型,揭示了长期高压注水、注聚后宏观、微观剩余油形成机理与分布规律,预测了四年和六年后可动剩余油的分布。

本书可作为油田开发工作者、大专院校及科研院所相关专业技术人员、师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

注聚油藏动态模型及剩余油分布 / 刘文业著 .

北京:石油工业出版社,2008.6

ISBN 978-7-5021-6522-2

I . 注…

II . 刘…

III . 油藏 — 研究

IV . P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 033441 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) 64523579 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

2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 7.25

字数: 180 千字 印数: 1—1000 册

定价: 40.00 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

序

《注聚油藏动态模型及剩余油分布》一书是作者在博士论文基础上,进一步总结提高的成果。作者从事油田开发工作 20 余年,现任胜坨采油厂高级工程师,在油田开发方面有较高的造诣,为胜坨采油厂发展做出了突出的贡献。该书也是他多年工作的结晶,他抓住我国东部油田长期高压注水开采 30 ~ 40 余年,注聚 10 余年,油田已进入特高含水期的特点,揭示了分流河道砂储层宏观、微观、流场参数演化规律、演化机理,阐明了分流河道砂储层宏观、微观和可动剩余油分布模式及控制因素这一重大问题,也是目前本学科的难点、热点问题。作者应用了国内外现代油藏研究、描述、表征、仿真的最新高科技理论和方法技术,以胜坨油田一区经 40 余年高压注水、10 余年注聚开发的沙二段 1 ~ 3 砂组为例,深入系统的研究了长期注水、注聚后三角洲分流河道微相储层宏观、微观、流场和物理、数学模拟参数演化规律、演化机理,建立了研究区油藏宏观、微观、流场、仿真动态演化模型,预测了宏观、微观、可动剩余油四年后、六年后分布规律,指导油田开发取得很好效益。

该书的主要特色是论述了油藏宏观、微观、流场动态模型概念、主要特征、主要研究内容,剩余油宏观、微观、动态模型和仿真模型,论述了开发流体动力地质作用是诱发油田储层宏观、微观、流场参数演化机理和控制因素,预测了四年后和六年后可动剩余油分布,给研究区目的层提高采收率提供了科学依据,深化发展了陆相断陷湖盆开发地质学理论和方法,该书可为本学科的重要参考书。

前 言

能源是现代社会发展的基础,油气是世界能源的主要成员,油气为工业的“血液”是国民经济发展的重要支柱,故改善、发展油气田勘探开发有重要的理论意义和实用价值。

自 20 世纪 60 年代中国提出油气勘探自西向东转移已有 40 余年历史,在松辽盆地、渤海湾盆地和东部海域盆地相继发现了一大批大中型油气田,东部油气田储量和产量占我国油气总储量、产量的一多半以上。我国东部的油气田广泛发育分布在受同生断裂控制的陆相断陷湖盆中,这些油气田的储层主要为非均质性的河流、三角洲相沉积,给油气田勘探开发带来了极大的困难。目前这些油气田已经历 30 至 40 余年注水、注聚开发,其中多数油田都进入了高含水或特高含水开发阶段,油田综合含水率为 95%,但油气采收率仅为 30% ~ 40%。在这种特高含水复杂的条件下要实现优化油田开发地质环境,做到油田稳油控水,提高采收率,必须揭示不同开发方式、增产措施,诱发油藏子模型参数演化机理、演化规律,建立油藏多参数动态演化模型;揭示宏观、微观和可动剩余油形成机理、控制因素、分布规律,才能实现长期持续安全生产、大幅度提高采收率的目的。

研究区是注水开发 40 余年、注聚 10 余年的胜坨油田一区沙二段 1 ~ 3 砂一组,为三角洲前缘亚相分流河道微相沉积。研究中综合应用多学科理论和方法,最大限度应用计算机技术,油藏综合研究与油藏物理模拟相结合,研究了宏观场、微观场和渗流场动态演化规律、演化机理,建立了不同开采方式、不同含水期油藏动态演化模型和仿真模型,阐明了宏观、微观剩余油形成机理和分布规律,预测了四年和六年后可动油分布,对指导油田开发取得了很好的经济效益和社会效益。

本书共分七章。绪论论述了油藏动态模型的内涵、主要研究内容、发展趋势。第一章阐述了胜坨油田地层格架、构造格架、储层成因类型、分布规律、油田开发历程、开发地质环境和油田开发地质灾害。第二章论述沙二段储层成岩相非均质性、沉积非均质性和储层敏感性。第三章阐述了储层流动单元概念、流动单元划分方法、流动单元主成分分析原理和方法、聚类分析原理和方法、注聚先导区储层流动单元模型。第四章论述了油田开发地质灾害概念、油田开发地质灾害主要类型、形成机理、控制因素及油田开发地质灾害的破坏性。第五章阐述了胜坨油田宏观参数求取、宏观参数演化规律、宏观参数演化机理和数学模型及宏观参数动态演化模型。第六章论述了储层微观参数动态模型的内涵、胜坨油田储层岩石骨架演化模型、储层孔喉网络演化模型、储层粘土矿物演化模型和储层渗流场演化模型。第七章论述了剩余油的内涵和概念、胜坨油田剩余油形成微观机理、注聚区剩余油控制因素、剩余油分布模型和胜坨油田四年和六年后注聚区剩余油预测模型。

该书从油藏长期高压注水、注聚角度来揭示分流河道储层宏观、微观和流场非均质性特征、演化,研究表征不同开发方式、不同开发阶段储层宏观、微观、流场物理模拟和仿真模拟参数动态演化机理、演化规律,进而揭示分流河道砂储层宏观、微观和可动剩余油形成、分布,开发了建立油藏仿真动态模型的新思路和新方法。希望本书出版能为油田开发地质学、油藏工程学及剩余油研究领域起抛砖引玉作用,推动我国石油工业安全快速发展。

本书在编写过程中得到了中国科学院地质与地球物理研究所刘嘉麒院士、中国石油大学信荃麟教授、刘泽容教授、李红南教授的悉心指导并提出了修改意见，胜利油田胜坨采油厂等专家为本书提供了大量的基础资料，给予了很大帮助。借此机会表示由衷的感谢。

因笔者水平有限，书中不当之处，欢迎专家同行批评指导。

目 录

绪论	1
第一章 胜坨油田地质特征概述	2
第一节 胜坨油田地层格架	2
第二节 胜坨油田构造格架	9
第三节 胜坨油田沙二段储层成因类型	10
第四节 胜坨油田沙二段砂体分布规律	14
第五节 胜坨油田开发历程及主要开发特征	21
第六节 胜坨油田开发地质环境和地质灾害概况	25
第二章 胜坨油田储层非均质性研究	26
第一节 胜坨油田沙二段储层成岩相非均质性研究	26
第二节 胜坨油田沙二段储层沉积非均质性研究	27
第三节 胜坨油田沙二段储层敏感性非均质研究	34
第三章 胜坨油田储层流动单元研究	41
第一节 储层流动单元概念	41
第二节 储层流动单元研究划分原理和方法	41
第三节 储层流动单元主成分分析原理和方法	43
第四节 储层流动单元聚类分析原理和方法	44
第五节 胜坨油田注聚先导区储层流动单元模型	45
第四章 胜坨油田开发地质灾害形成机理	48
第一节 油田开发地质灾害概念	48
第二节 胜坨油田开发地质灾害主要类型	48
第三节 胜坨油田开发地质灾害形成机理	50
第四节 胜坨油田开发地质灾害控制因素	56
第五节 胜坨油田开发地质灾害破坏性	63
第五章 胜坨油田储层宏观参数动态模型	64
第一节 胜坨油田储层宏观参数求取	64
第二节 胜坨油田储层宏观参数演化规律	64
第三节 胜坨油田储层宏观参数演化机理及数学模型	68
第四节 胜坨油田储层宏观参数动态模型	70
第六章 胜坨油田储层微观参数动态模型	80
第一节 储层微观参数动态模型的内涵	80
第二节 胜坨油田储层岩石骨架场演化模型	80
第三节 胜坨油田储层孔喉网络场演化模型	82
第四节 胜坨油田储层粘土矿物场演化模型	85
第五节 胜坨油田渗流场演化特征	87

第七章 胜坨油田剩余油形成机理与分布模式..... 89

第一节 剩余油的概念 89

第二节 胜坨油田剩余油形成微观渗流机理 89

第三节 胜坨油田剩余油控制因素 92

第四节 胜坨油田剩余油分布模式 94

第五节 胜坨油田剩余油预测模型 99

参考文献 102

绪 论

随着国内外石油高科技的快速发展及油气勘探开发事业的不断深入,油藏描述的主要研究理论和方法技术也不断地深化发展和创新,油藏动态模型研究及剩余油预测也在深化发展并成为油藏描述与表征的重要内容。

我国东部断陷湖盆陆相储层油气田,因地质构造环境复杂导致陆相储层的高度非均质性及地下流体性质的复杂性,各油田长期注水开发导致水驱推进过程极为不均匀,致使不同含水期油藏宏观场、微观场和渗流场及油藏参数发生各自规律性的变化,储层非均质性明显增强,生产矛盾日益加剧,呈现后备储量严重不足、已开发油田稳产基础日益变差、油田综合含水上升速度进一步加快、综合治理难度越来越大、实施效果逐步变差等一系列的不利于提高采收率的现象。油田的开发形势迫切要求优化发展适应各油田自身特点的三次采油技术。相关统计资料显示,三次采油方法覆盖地质储量达 $60 \times 10^8 \text{t}$ 以上,可增加可采储量 $10 \times 10^8 \text{t}$,为各种提高采收率潜力的 76%,是我国油田提高采收率研究的主攻方向。其中,聚合物驱油是推广程度最高、效果最好的三次采油方法技术。

一、油藏动态模型的内涵

目前,我国各油田采用聚合物驱是推广程度最高的三次采油方法技术,同时在水驱油之后的剩余油提高采收率方面已取得了很好效果。储层中随着聚合物驱油开采技术的推广应用,一方面使注聚单元油层的开发效果好转,采收率提高;另一方面使地下油层原油采出程度更高,剩余油分布更加不均匀和复杂化,同时还引发了聚合物驱油后油藏中的若干问题,如地下储层的宏观参数、微观参数、渗流参数在注聚后发生了怎样的变化?剩余油分布规律如何?上述问题的研究与解决对进一步开展三次采油技术、指导注聚油藏后续水驱阶段开发策略的制订等方面具有重要意义。聚合物驱油后,地下储层中的剩余油形成机理、分布规律、控制因素如何?聚合物驱油后,油层能否采用其他开采方法?是否还有可能采取措施进一步继续提高油层采收率?前景如何?是目前众多油田共同关注的热点难点,也是四次采油研究的重要范畴。如何精细定量描述三次采油后油藏模型演化和剩余油的分布规律(由于大量注入水和大量聚合物的影响,储层情况变得异常复杂,尤其是剩余油以什么状态、什么方式、具体分布在什么地方,剩余油饱和度高的地区在哪里等问题)?如何定量描述三次采油后滞留在储层中的化学驱替剂的分布状况和对油藏的污染,并进一步充分有效利用这些化学驱替剂?建立注聚后油藏动态模型是聚合物驱油后油藏急待解决的国际学科前沿技术难题,也是开展研究四次采油开采技术的基础。

胜坨油田是我国陆上整装大油田之一,含油面积 73.2km^2 ,石油地质储量 $4.59 \times 10^8 \text{t}$ 。经过 30 多年的注水开发,油田的综合含水已超过 95%,采出程度达到 32%,已进入注水开发的后期,开发形势非常严峻。1998 年 4 月在胜一区沙二段 1~3 砂层组东部进行注聚先导试验(同时实施两套方案:日本生产的 MO-4000 聚合物清水配清水注、MO-4000 聚合物清水配污水注),因见有较明显的降水增油效果,又于 2002 年 3 月在胜一区西部进行注聚扩大试验(同时实施三套方案:MO-4000 聚合物清水配清水注、北京恒聚生产的聚合物清水配清水注、北京恒聚生产的聚合物清水配污水注)。为此,加强了该油田三次采油的研

究,胜一区沙二段1~3砂层组作为该油田聚合物驱油的先导性试验区,进行了油藏地质特征的基础研究和地质模型的重建、水驱开发特征和油水分布规律的研究、单元聚合物驱潜力的再评价、聚合物品种的筛选、室内驱油试验、局部油藏数值模拟等多方面的综合研究工作。该油田目前试验正在进行中。因此,加强油藏聚合物驱后油藏地质开发特征演化的再认识、加强不同聚合物产品不同驱替方式聚合物驱油效果对比研究、加强油藏聚合物驱后储层精细描述、加强油藏聚合物驱后充分有效利用残存在地下的聚合物进一步提高采收率等方面的研究具有重大的理论意义和实用价值。

各油田开发实践的室内、现场实验表明,储层宏观、微观、渗流场和储层参数发生的这种变化严重地影响了各油田不同含水期和三采注聚合物的开发效果和采收率提高,这些现象正逐渐引起国内外石油地质专家和学者们的高度重视,深化和发展油藏描述的理论和方法技术是解决上述问题的基础和有效途径。建立不同含水期不同开发阶段和三采注聚油藏动态地质模型和剩余油预测模型是油藏描述深化和发展创新的成果。油气的储存空间、运移通道和存储的流体及流体在孔喉网络中渗流特征和演化的总称即为油藏流场。油田生产实践和储层渗流物理模型均表明,在长期注水开发过程中,油藏开发流体动力地质作用不仅普遍存在,同时还不断地发生非均质的复杂演化,这些非均质的复杂演化控制了不同含水期宏观、微观剩余油的形成与分布。油藏流场演化的机理是未饱和的油藏开发流体在储层孔喉中发生了长期的、多种方式的、非均质的、复杂的、剧烈的动力地质作用,称为油藏开发流体动力地质作用,通过研究区三采注聚后油藏动态地质模型的研究,可以揭示和预测胜坨油田一区沙二段1~3砂层组在不同含水阶段特别是1998年注聚后油藏宏观、微观和渗流场及参数的空间变化规律,及其在不同含水期和注聚后剩余油的变化规律与控制因素,进而建立胜坨油田一区沙二段1~3砂层组油藏动态模型,揭示和预测胜坨油田一区沙二段1~3砂层组分流河道砂油藏不同含水期和三采注聚后剩余油宏观、微观的形成机理和分布规律,指导胜一区三采注聚后改善开发效果,提高采收率的科学依据。

胜一区沙二段1~3砂层组属交织河道为骨架砂体的三角洲平原亚相沉积,储层非均质性强。胜坨油田为聚合物驱先导试验区,对胜一区沙二段1~3砂层组又进行了油藏地质模型综合研究、水驱开发特征和油水分布规律的研究、单元聚合物驱潜力评价、室内驱油试验、局部油藏数值模拟等多方面的综合研究表征工作,积累了研究区丰富的油藏开发、静态资料。在此基础上开展经30余年注水开发的胜一区注聚先导区油藏动态模型及剩余油分布研究,该成果必将为阐明分流河道砂储层在30余年长期注水开发和三采注聚后储层参数变化规律以及剩余油形成机理分布规律方面获得创新的理论、思路和技术,从而指导改善油藏开发效果,提高油藏最终采收率,并在同类型油藏的开发中推广应用取得显著的经济效益和社会效益,深化发展油藏开发地质学的理论和方法技术。

二、注聚油藏动态模型主要研究内容

油藏动态地质模型是一个新的概念,油藏动态地质模型和剩余油预测研究是油藏描述的深化和发展,是把精细油藏生产动态描述与流体动力学、油藏渗流物理模拟相结合,油藏流场演化与注入水渗流场相结合,进行油藏动态研究的全新的思路和方法。本书以胜坨油田一区沙二段1~3砂层组分流河道微相储层为例,主要研究内容如下。

(1) 胜坨油田沙二段1~3砂层组分流河道微相储层油藏宏观参数动态演化研究。

综合应用地质、测井、油藏工程等信息,最大限度的应用计算机手段,研究沙二段1~3砂层组储层、流动单元的宏观特征、非均质性、时空演化的规律,建立储层沙二段

1 ~ 3 砂层组注聚后宏观参数动态模型,揭示剩余油宏观分布规律,给不同含水期和三采注聚后剩余油宏观分布模式建立奠定基础。

(2) 胜坨油田沙二段 1 ~ 3 砂层组分流河道微相储层油藏微观参数动态演化研究。

储层孔隙是组成开发流体动力地质作用的环境,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,深入系统研究和表征沙二段 1 ~ 3 砂层组孔隙结构的复杂性,揭示胜坨油田一区沙二段 1 ~ 3 砂层组分流河道微相储层骨架、孔喉网络、地层微粒、粘土矿物和流体等在不同含水阶段的主要特征和变化规律,揭示流场在不同含水阶段和三采注聚后填隙物演化趋势及演化规律和控制因素,从储层微观角度为不同含水期剩余油微观形成和分布的控制作用奠定基础,为不同含水期三采注聚后剩余油的微观形成机理和分布规律提供科学依据。

(3) 胜坨油田一区沙二段油田地质灾害形成机理研究。

综合应用多种资料信息,研究沙二段油藏经数十年注水开发诱发的地质灾害类型、形成机理、控制因素和该油田开发地质环境污染和地质灾害的破坏性,为油田减灾防灾奠定基础。

(4) 胜坨油田一区沙二段 1 ~ 3 砂层组分流河道微相储层油藏剩余油微观分布模型和控制因素研究。

综合应用上述成果,从宏观到微观,从定性到定量,从三维到四维,研究描述和表征剩余油微观的特征分布,建立胜坨油田一区沙二段 1 ~ 3 砂层组分流河道微相储层不同含水期三采注聚后剩余油微观分布的模式,进而指导油田开发。

(5) 胜坨油田一区沙二段 1 ~ 3 砂层组油藏四维动态地质模型研究。

应用神经网络和随机建模等国际最先进的理论和方法技术,建立分流河道微相储层在不同含水期、三采注聚后油藏四维动态演化模型,揭示不同含水期、三采注聚后储层参数变化规律和演化机理及对宏观剩余油的控制作用。

(6) 胜坨油田一区沙二段 1 ~ 3 砂层组油藏开发流体动力作用地质研究。

应用国内外油藏研究的新理论、新思路,研究和揭示了不同含水期、三采注聚后油藏开发流体动力地质作用对油藏各子模型破坏方式、破坏程度和演化机理及对宏观、微观可动剩余油形成和分布的控制。

(7) 胜坨油田一区沙二段 1 ~ 3 砂层组分流河道微相储层油藏剩余油预测模型研究。

应用多学科理论为指导,建立胜坨油田一区沙二段 1 ~ 3 砂层组油藏和注聚后剩余油预测模型,预测特高含水期、三采注聚后储层宏观参数演化规律和宏观剩余油分布模式。

(8) 胜坨油田一区沙二段 1 ~ 3 砂层组油藏宏观、微观剩余油研究描述配套理论方法技术研究。

综合应用多学科理论为指导,应用计算机技术,建立一套分流河道微相储层油藏动态地质模型研究、描述、表征和预测的配套理论、方法和技术,指导油田开发,改善开发效果,降低开发成本,提高油藏最终采收率,取得显著的经济效益和社会效益,深化发展陆相断陷湖盆开发地质学的理论和方法技术。

三、注聚油藏动态模型发展趋势

1. 油藏动态模型发展趋势

中国东部的油气储层多为陆相断陷湖盆沉积,因形成的地质构造环境复杂,油藏储层

模型多样且极为复杂化,如胜坨油田一区沙二段 1 ~ 3 砂层组油藏是被断层复杂化的滚动背斜,地质构造复杂。1 ~ 3 砂层组属分流河道砂储层,砂体侧向变化快,储层非均质性强,给油田开发带来了许多用常规理论方法和技术很难解决的甚至是解决不了的科技难题。经过石油科技工作者们的长期攻关,建立了一套符合中国地质特点的陆相储层油藏动态描述、表征及预测的理论、技术和方法,已在生产实践中广泛应用并取得了显著的经济效益和社会效益。但大量的油田开发实践证实,特别是长期注水开发的油田,它们的油藏流场油藏地质模型是在不停的运动和演化的,油井、油层注入水对地下储层流场进行长期多种方式的复杂剧烈的动力地质作用,上述复杂的油藏开发流体动力地质作用对储层流场各子模型的长期复杂改造和破坏是在不停的发生发展和演化中,从而致使油藏流场各个子模型宏观场、微观场、渗流场和各种相关参数也是变化的,这种变化造成地下油藏储层流场宏观、微观、渗流场非均质性发生更为剧烈复杂的演化,也致使宏观、微观剩余油形成机理分布规律极为复杂化,但这种变化并不是混乱的,而是有序的、有规律可循的。就目前的研究而言,仍采用静态的、简单的油藏描述很难有效地认识、揭示这些开展地质学科前沿难题。建立油藏注聚后动态模型和剩余油动态预测是油藏描述理论方法技术和油藏开发地质学理论方法技术的深化和发展。这一全新的概念理论和方法技术必将为长期注水开发油田的高含水和特高含水期宏观和微观剩余油的形成机理、分布规律预测及油藏改善开发效果方法技术优选、提高油藏最终采收率开辟一条学科前沿研究分析的新理论、新思路和新方法技术,指导各类油田开发取得显著的经济效益和社会效益,深化发展油藏开发地质学理论和方法技术。

中国油田大多发现于陆相沉积盆地,油藏的类型复杂,沉积体积小,天然能量供给受到限制,因此绝大多数油田都采用早期注水、保持油藏压力下进行开发,不存在截然不同的一次、二次采油阶段,油田自投入开发一直是在长期注水方式下进行生产,目前油田大都陆续进入高含水期采油阶段。根据室内实验、现场先导试验和统计预测的资料进行标定表明,中国大多数已开发油田的全国平均水驱原油采收率为 33.16%,即 67% 左右的地质储量在水驱阶段不能被采出,需要进行注聚驱“三次采油”开采水驱剩余储量。故注聚后油藏动态模型和剩余油分布规律研究有重要的理论意义和实用价值。

2. 注聚油藏动态演化模型发展趋势

目前国内注聚物驱油研究刚起步,多为试验阶段,而国外对聚合物驱油的研究主要集中在以下几个方面:

(1) 聚合物类型的研究。目前驱油用的主要聚合物产品是合成聚合物(聚丙烯酰胺)与生物聚合物(黄胞胶)。近年来,英国联合胶体公司及法国石油研究院都开发了聚丙烯酰胺的乳状液,其中聚合物含量达到 50% ~ 60%,这种产品使得现场配置工艺及测定分析都更加简便,加入一定量的异丁醇还可以使聚丙烯酰胺的粘度在 86℃ 下稳定三个月以上。黄胞胶不仅具有较强的抗盐能力,而且能改善注入能力,现已经在罗马尼亚投入使用,但成本较高,在油田大范围推广受到限制。

(2) 多种化学剂复合配方驱油的研究。由于复合驱中各种驱油成分的协同效应使得复合驱动比单一的聚合物驱动有更高的采收率。聚合物在各种复合驱中所起的具体作用也吸引了大量的研究人员从事这方面的研究。

(3) 聚合物损耗的研究。聚合物损耗的原因,除在岩石表面的吸附外还有在孔隙死端及空吼狭窄处的滞留与捕集。聚合物的盐敏现象虽然不会消耗聚合物的量,但它使得聚合

物对水的稠化能力大大降低。聚合物在地层中的损耗量是直接影响驱油效果和经济效益的重要因素，因此是聚合物驱研究的重要课题之一。国外学者通过建立数学模型，对聚合物的损失机理和各种影响因素进行数学描述，以探索减少聚合物损失和优选牺牲剂的途径。

(4) 聚合物在多孔介质中驱油机理的研究。聚合物溶液在多孔介质的渗流过程中，普遍存在与岩石矿物之间的吸附与解析、各相间的扩散、传质、对流、溶解等现象，以及受多孔介质孔隙结构影响的捕集与聚并等一系列复杂的物理化学现象。国外对聚合物在渗流过程中的流动特征和流变特性，非混相的液—液相在多孔介质中的界面效应、吸附性以及流体分布等作了大量的研究。对于聚合物驱在多孔介质驱替过程中油墙的形成、扩散、聚并以及油水运动中饱和度剖面与提高采收率之间的关系，也做了不少工作。另外，研究多孔介质的渗透率、注入方式、驱替速度等对驱油效果的影响，对于预测聚合物驱的最终采收率和指导现场实验都有一定的意义。

由于聚合物驱油机理相对比较清楚，成本较低，注入工艺及设备较简单，并可以与调整油水剖面相结合，故聚合物驱油在化学驱中是比较成熟的方法。因此早在 1983 年的全国第三次采油工作会议上就决定，将聚合物列入我国三次采油方法改善注水效果的重点。我国很早就在这一领域与国外公司进行了技术合作，取得了许多成果。

(5) 三次采油新型聚合物的研制。如中国科学院微生物研究所、南开大学等单位研制的黄胞胶已经开始投入生产，但是其特性还需要进一步研究确定。有的学者研究建立完整系统的聚合物产品及聚合物性能分析评定方法，并对国内外多个厂家生产的多种聚丙烯酰胺产品质量进行分析评价。有的研究不同类型离子及离子强度，特别是高价金属离子、pH 值、温度对不同分子量、不同浓度聚合物溶液性能的影响及其变化规律，聚合物溶液的稳定性，如机械剪切降解和生物降解性能。有的研究聚合物溶液在多孔介质中的流动特性如阻力系数、剩余阻力系数、滞留量及流变特性。有的研究不同分子量聚合物在粘土矿物多孔介质中的吸附及滞留机理。

四、注聚油藏动态模型的特色和创新

综合应用石油地质学、沉积学、地质灾害学、环境矿物学、地震地层学、测井地质学、开发地质学、油藏工程学、构造地质学、渗流力学、油藏地质化学、地质统计学等多学科的理论、方法和技术，应用多种资料信息，最大限度应用计算机手段，定性 with 定量相结合，宏观与微观相结合，三维与四维相结合，研究胜坨油田一区沙二段 1 ~ 3 砂层组油藏在不同注水开发期和三采注聚后油藏流场宏观场、微观场、渗流场和油藏开发流体动力地质作用的主要特征、演化规律和控制因素、环境污染、地质灾害，从静态到动态、从宏观到微观、从三维到四维揭示不同层次的油藏流场各子模型演变方式特征，揭示经 40 余年注水开发过程中及 1998 年 4 月三采注聚后油藏流场和油藏开发流体动力地质作用演化特征及其规律、地质灾害形成机理。建立油藏宏观、微观动态演化模型和剩余油预测模型，预测可动剩余油形成分布，降低开发成本，改善开发效果，提高采收率，创造极大的经济效益和社会效益，深化和发展陆相断陷湖盆开发地质学的理论和方法技术。

1. 注聚油藏动态模型的技术难点

- (1) 注聚后储层宏观参数求取、演化规律、演化机理、宏观参数动态演化模型。
- (2) 注聚后储层骨架场、孔喉网络场、粘土矿物场、渗流场演化模型。
- (3) 注聚后油田开发地质灾害形成机理、分布规律和控制因素。
- (4) 注聚后油藏宏观、微观剩余油分布模式和剩余油预测模型。

2. 本书的主要特色和创新

(1) 揭示了胜坨油田沙二段分流河道砂储层特征、成因类型、非均质性、敏感性,进行了储层评价。自 1998 年注聚以来,获得较好的降水增油的效果。建立了胜坨油田沙二段分流河道砂储层流动单元模型,揭示了各类流动单元特征、形成分布,为油藏动态模型研究提供了科学依据。

(2) 阐明了研究区油藏开发地质环境污染、地质灾害类型、形成机理、控制因素、灾害的破坏性。提出了减灾、防灾的自净化理论和方法技术,降低开发成本,有效地提高采收率。

(3) 建立研究区不同开发阶段储层宏观参数动态模型。揭示了研究区沙二段油藏不同含水期、三采注聚后剩余油宏观场特征、演化机理和演化规律。

(4) 建立了研究区储层微观骨架场、孔喉网络场、粘土矿物场和渗流场动态模型。揭示了不同含水期、三采注聚后油藏流场特征、演化规律和演化机理。建立了研究区油藏不同含水期、三采注聚后剩余油宏观和微观动态模型,揭示了研究区宏观、微观剩余油形成机理和分布规律,指导油田开发。建立了研究区油藏特高含水期、注聚后剩余油预测模型,预测了后续水驱 6 年后可动剩余油形成和分布,指导油田开发,取得了显著经济效益和社会效益。

(5) 揭示了研究区油藏不同含水期、三采注聚后油藏流场宏观场、微观场、渗流场的演化特征、演化规律和演化机理。揭示了油藏开发流体动力地质作用诱发油藏各子模型按各自规律演化,使注聚后剩余油分布极为复杂。

(6) 建立了油藏动态模型和剩余油分布研究、描述、表征和预测的配套理论和方法技术。取得了显著的经济效益和社会效益,深化发展了陆相断陷湖盆开发地质学的理论和方法技术。

第一章 胜坨油田地质特征概述

第一节 胜坨油田地层格架

胜坨油田位于东营凹陷北部陡坡带坨庄—胜利村—永安镇二级构造带中段，陈家庄凸起南端，胜北大断层下降盘，西临利津生油凹陷，南接东营中央背斜带，东为民丰洼陷，是一个被断层复杂化的背斜构造油藏（图 1-1）。古近系和新近系组成了主要的盆地充填沉积，并发育了包括沙四段、沙三段、沙二段、沙一段、东营组在内的多个生储层系（图 1-2）。其中，沙二段是胜坨油田的主要含油层系，划分为 S_2^1 — S_2^7 七个砂层组。1 ~ 3 砂层组为紫红色泥岩夹灰绿色砂质泥岩，砂岩粒度由细至粗，底部含砾或细砾岩。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。我们以胜一区沙二段 1 ~ 3 砂层组为主要研究目标，根据沉积旋回和含油特征将 S_2^1 砂层组分为四个小层， S_2^2 砂层组分为六个小层， S_2^3 砂层组分为七个小层，共细分为 17 个小层（图 1-3）。

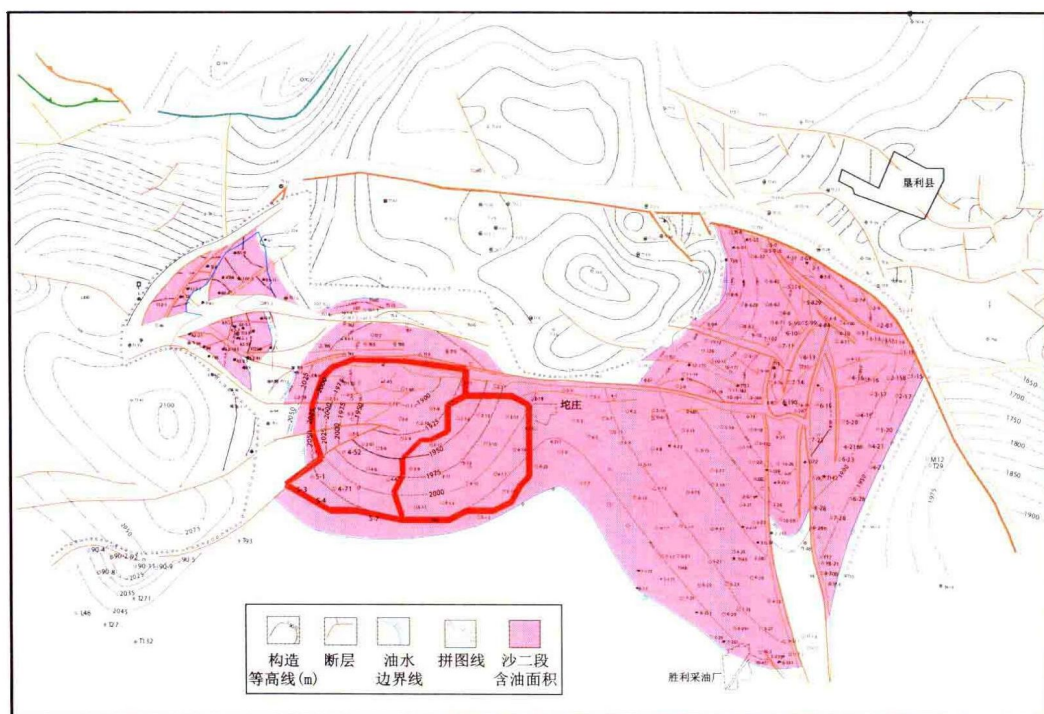


图 1-1 胜坨油田构造位置图

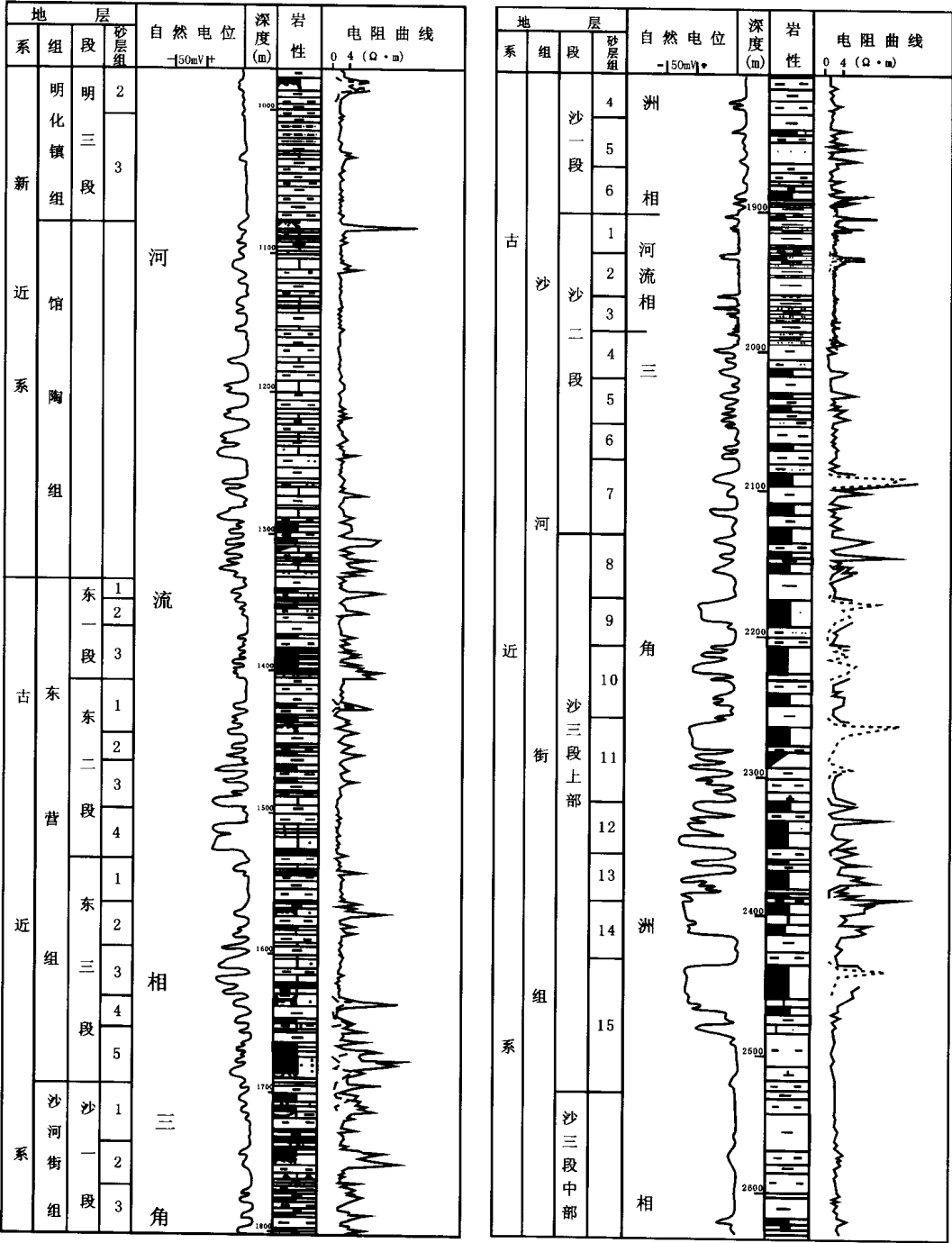


图 1-2 胜坨油田主要含油层段地层发育特征

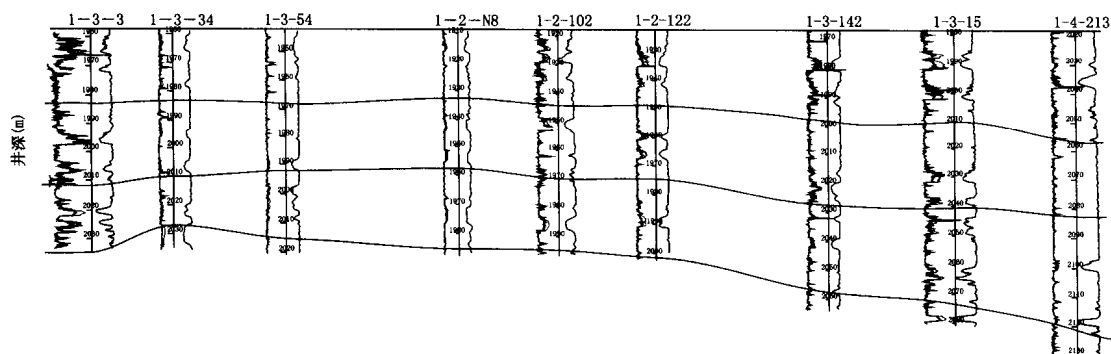


图 1-3 胜一区 S_2^{1-3} 砂层组划分特征

第二节 胜坨油田构造格架

东营凹陷在古近纪是一个受区域性拉张作用形成的北陡南缓、北深南浅的半地堑型湖盆。胜坨油田位于湖盆北缘、陈家庄凸起的南部，沙四段沉积时期，控制构造、沉积发育的坨—胜—永大断裂开始活动，本区处于稳定的持续下陷状态，连续沉积了巨厚的泥岩。与此同时，陈家庄凸起上剥蚀下滑的冲积物不断在基岩斜坡上沉积，断层与基岩面间形成了砂、砾岩体和断阶（即二台阶）构造。在沙三段中、下部及沙三段上部第十砂层组沉积前的各沉积时期胜坨地区仍为坳陷，沉积厚度大。至沙三段上部沉积后期，沉降运动才逐渐停止，至沙二段沉积早期开始隆起，东营组沉积时期隆起幅度最大，构造运动最强烈，往后持续隆起至明化镇组沉积早期，隆起的幅度是逐渐增加的，之后，受多种构造运动影响，逐渐形成了现今具有背斜形态的构造格局。

胜一区北临胜北弧形断层，该断层为一正断层，产生时间早、落差大、延伸长，控制了该区的构造发育。胜北弧形断层最早产生在沙二段沉积早期，活动时间可延续到馆陶组沉积时期。胜北弧形断层（1-2-x191井至T43井）大体为东西走向，断面倾向北，断距10～60m不等，T43井以西部分胜北弧形断层逐渐变为北西走向，断面倾向北西。此断层在1-1-31井处向西南方向有一分叉，并经过1-1-34、1-2-32、1-1-39井呈东西走向，为一断面南倾的正断层。胜一区西部还发育三条较大的次一级断层，北边一条大致呈东西走向，延伸较长，由1-2-64井附近开始经1-2-55、1-2-54井向西延伸并与胜北弧形断层相遇，断面南倾。中间一条为北东东走向的正断层，由1-2-61井向南南东方向一直延伸到胜一区外，断面倾向南南东。在以上两条断层之间有一条经过1-3-39井的北东东走向的小断层，断面倾向南南东。南边一条为北东走向的正断层，断面倾向北西，这样就形成了胜一区西部地堑格局。三条断层造成了断层两侧油水界面不同，对油气分布有局部的控制作用，对地层沉积厚度也有影响。

除上述较大的断裂外，其余断层均为小断层，主要发育在胜一区北部，自西向东依次为：①经1-2-3井的东西走向的正断层，断面南倾。②北东走向的正断层经1-1-4、1-1-44、1-1-43、1-2-52井，断面倾向北西。③由1-1-55井开始的東西向断层向西延伸到1-2-42井以北，断面南倾。在该断层两侧各发育一条北东向小断层，1-1-64井位于两断层形成的地垒上。④1-0-8井与1-0-9井之间发育一条北东方向的正断层，由1-1-82井北部向北东延伸，断面倾向北西。⑤其余三条位于胜北弧形断层附近，走向与胜