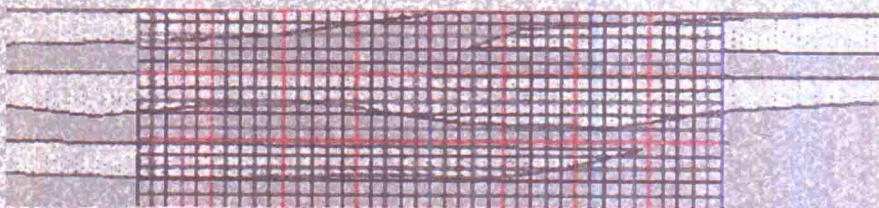
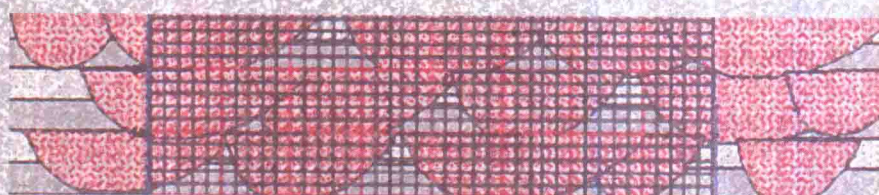


高含水油田储层沉积学

张昌民 尹太举 张尚锋 李少华 著
尹艳树 王振奇 朱 锐



 科学出版社



高含水油田储层沉积学

张昌民 尹太举 张尚锋 李少华 著
尹艳树 王振奇 朱 锐

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍长江大学剩余资源研究组 20 余年来开展储层沉积学研究所取得的理论和实践成果。主要论述储层层次分析方法、储层表征的工作思路和基本框架、高分辨率层序地层学、现代沉积调查与沉积模拟、露头调查、储层地质知识库、储层建筑结构要素分析、储层沉积相模式、储层成岩作用和质量评价、隔层预测和储层随机建模的主要方法、储层流动单元的划分和描述方法、高含水油田剩余油分布的预测方法;最后介绍如何结合开发和工程措施实施高含水油田的剩余油挖潜。

本书适合从事油田地质工作的研究人员和高级管理人员、大专院校从事石油天然气勘探开发教学科研的教师、高年级学生和研究生参考使用。对从事煤田、铀矿等沉积矿床研究的人员和院校师生也有借鉴作用。

图书在版编目(CIP)数据

高含水油田储层沉积学/张昌民等著. —北京:科学出版社,2017.3
ISBN 978-7-03-051627-5

I. ①高… II. ①张… III. ①高含水-油田-储集层-沉积学-中国
IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 018923 号

责任编辑:万群霞 冯晓利 / 责任校对:郭瑞芝
责任印制:张 倩 / 封面设计:黄华斌

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017 年 3 月第一次印刷 印张:46

字数:1 091 000

定价:368.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

储层沉积学是应用沉积学的理论和方法研究各种环境下沉积形成的油气储层特征的学科。储层沉积学兴起于 20 世纪 60 年代,到 70 年代形成了基本的研究方法和研究思路,80 年代将其应用从油气勘探扩展到油田开发领域,90 年代随着油藏描述和储层表征技术的发展,储层沉积学得到迅速发展,不断从宏观向微观、从定性向定量的方向发展。目前,储层沉积学研究已经成为贯穿油气勘探开发全过程的一项必不可少的重要工作。尤其是在当前油价低迷,我国大多数油田的主力油藏处于高含水开采期的双重不利形势下,如何降低油田开发成本,实现油藏的经济有效开采成为石油公司面临的最大难题,因此,更加需要对储层进行准确的表征,储层沉积学的研究就显得尤为必要。

储层沉积学研究包括从大相到微相、从岩石相到储层物性、从沉积层序到层内非均质性、从沉积规模到砂体连续性、从微相的平面展布到砂体平面非均质性及建立储层地质模型六个方面的内容。为了完成储层沉积学的基本研究内容,需要综合利用石油勘探开发过程中所积累的区域地质、地球物理、钻井录井、测井试井、分析化验和开发动态资料进行系统的沉积学分析,建立精细的储层地质模型。然而,通常所获得的地质地球物理和开发动态资料的分辨率和资料的丰富程度难以满足建立精细储层地质模型的需要,需要运用比较沉积学的方法,借助露头调查、现代沉积、沉积模拟实验等方法建立储层地质知识库,通过地面与地下相互比较、现代和古代相互借鉴的方法对储层沉积相和微相特征进行精细分析,对储层岩石相类型及其物性特征进行总结,对储层层序进行划分,对储层砂体几何形态进行预测,对储层中隔层和夹层的分布规律进行描述。在此基础上,结合地下地质资料对储层的建筑结构进行解剖,建立精细的储层格架模型和物性分布模型,预测剩余油的有利分布区域,指导注水开发和三次采油开发方案的制定和实施,实现对油藏经济有效的开采。

以张昌民教授为首的长江大学剩余资源研究组自 20 世纪 80 年代末参加中国石油天然气总公司“八五”中国油气储层研究重点项目以来,以高含水油藏为主要研究对象,以提高油藏采收率为最终追求,以油藏精细表征为目的,以沉积学理论为主导,坚持开展高含水油田储层沉积学研究工作,在储层沉积学理论和实践方面进行了不懈的探索,做出了一些开拓性的工作。研究组经过长期的研究实践总结,提出了储层研究中的层次分析法。将河流沉积学中的建筑结构要素分析法应用于储层内部结构的精细解剖,将高分辨率层序地层学应用于开发阶段的小层精细对比;较早地在河南、青海和延长地区开展储层沉积学露头调查,并将露头资料与地下地质资料相结合预测砂体及其内部隔层的分布,建立储层地质模型;通过在现代长江荆江段、洞庭湖、鄱阳湖等地区开展现代沉积调查,提出了现代河流砂体的建筑结构模式和浅水三角洲沉积模式;在储层地质知识库建库方法、地质统计学建模技术、高含水油田储层精细对比技术、剩余油分布预测技术等方面取得了丰富的成果,许多技术在油田开发中被广泛应用,在生产中发挥了重要的作用。

长江大学剩余资源研究组坚持在高含水油田储层沉积学领域开展研究工作 20 余年,同时为国家培养了 100 余名硕士和博士研究生,在储层沉积学领域发表了学术论文 300 余篇,获得了多项省部级科技成果进步奖和一系列软件著作权和专利授权。该书包括储层层次分析的基本原理及其应用、高分辨率层序地层分析、现代沉积调查与储层模拟、沉积储层露头调查、储层地质知识库、储层建筑结构分析、储层沉积相模式、储层成岩作用和评价、储层隔夹层分布预测、储层沉积建模、储层流动单元、高含水油田剩余油预测等部分,涉及储层沉积学的众多研究领域。书中所介绍的研究实例有些来自研究组成员所发表的论文,有些是他们所撰写的研究报告,有些曾经在期刊上发表,有些是第一次正式出版。作者将不同时期、不同地区的研究成果按储层沉积学的研究方向汇编成该书,这些内容反映了他们在储层沉积学的探索征程中不断前进的足迹,反映了研究组从成长到不断壮大的过程,也从侧面反映了我国储层沉积学不断发展的过程。作为老一代储层地质工作者,我为这个团队的探索精神和所取得的成果感到欣慰,为储层沉积学研究队伍的不断壮大感到高兴,为我国油气储层沉积学的发展感到自豪。相信该书会受到储层沉积学界的欢迎,也期望这个团队能为我国的储层沉积学发展再立新功!

裴泽楠

2016 年 4 月

前 言

随着油藏注水开发的不断持续,储层含油饱和度不断下降,含水饱和度逐渐上升,地层流体中水的比例越来越高,造成采出液中的水油比越来越大。某一时刻某一油井采出液体中水所占的质量百分数反映该油井当时的出水状况,被称为油井某一时间的含水率。以一个油田或生产单元为整体计算的一定时间段的产液量中的产水量所占质量百分数称为该时段这个油田或者生产单元的综合含水率。一般情况下,含水率小于2%称为无水采油阶段;含水率为2%~20%被称为低含水采油阶段;含水率为20%~60%称为中含水采油阶段;含水率为60%~90%称为高含水采油阶段;含水率为90%以上称为特高含水阶段。

我国绝大多数油田的储集层是在中生代含油气盆地中沉积形成的。我国陆相含油气盆地经过古生代、中生代和新生代等多次构造运动,经受了多次的沉降沉积和抬升剥蚀作用,盆地内部次级构造单元众多、结构复杂。盆地多次断拗形成冲积扇沉积相、河流沉积相、三角洲沉积相、重力流沉积相、蒸发岩沉积相等多种类型的储层,不同的沉积相带在垂向和横向互相交错,形成了极其复杂的多旋回特征。同一沉积盆地多次生油,油气多次运移、多次成藏,造成同一含油层系具有多个含油层段。这些特点给横向上进行油层对比和垂向上合理布置开发层系造成了极大的困难,随着油田的深度开发,需要不断深化储层沉积学的研究工作。

油层对比是油田开发中最基础的地质问题,也是储层沉积学最重要的工作。我国陆相含油气地层长井段多层系的特征决定了油层对比的难度极大。早期的油层对比采用标志层分级控制、小层对比的原则,依靠测井曲线的形态相似性进行油层及其内部沉积界面的对比分析。自20世纪90年代层序地层学推广以来,等时对比成因分析的观念得到广泛应用,新老对比方法的差异会给正确认识油层的连通性和连续性带来巨大的影响,为正确设置注、采井组带来新的理论和方法。高含水油田多为老油田,油水关系复杂,精细地层对比精度要求高,需要实施新的小层对比策略,需要储层沉积学界不断地探索。

我国陆相盆地水体深度与海相盆地相比有限,造成含油砂体规模小,砂体内部结构复杂,多数油砂体都不是内部结构单一的成因砂体,而是由多个砂体通过横向和纵向叠置形成的复合油砂体。油砂体内部存在众多的隔层和低渗夹层,这些隔层和夹层的厚度及延伸范围变化极大,严重影响开发过程的油水渗流路径,需要进行精细的对比和预测。由于砂岩体内部岩性和沉积构造序列的变化对注水开发的井网布局形成强烈的制约,需要开展砂体几何形态及其内部建筑结构要素的精确描述,这是高含水油田储层沉积学的重要任务。

高含水油田经过多年的注水开发,油层内部的温度、压力、流体饱和度等物理化学环境发生了巨大的变化,导致储层中原有矿物的溶解和一些新矿物的沉淀,有可能会堵塞储层孔隙通道降低渗透率,也有可能形成新的通道降低注入水的驱油效果。一些主力油藏

储层胶结程度低,开发过程中出砂严重,不仅对储层形成伤害,而且对井筒设施造成破坏,因此,需要正确认识储层的岩石成分构成和微观特征,有效预测可能出现的储层伤害。

高含水油藏开发前后储层的孔隙度和渗透率都将发生重大的变化,同时油藏不同部位的含油饱和度和含水饱和度也将发生重大的变化。如何正确认识高含水油藏储层物性和含油性,并采用有效的方式方法检测高含水期油藏的物性和含油性,需要对其储层微观特征及其敏感性进行分析,重新进行岩石物理分析,寻找可靠的高含水期地球物理解释方法。

我国陆相油田多采用注水开发,油藏开发过程中采取的井网类型和开采方式众多。在不同的开发阶段采用不同的注采层系和注采井网,有时采用多层合采,有时采用分层开采,开发过程中同一井由采转注和由注转采时而发生,造成了十分复杂的地下水关系,剩余油分布随机性极强,预测十分困难,需要结合沉积体系、沉积相、沉积建筑结构要素分析精细刻画储层骨架,结合开发动态进行预测。

高含水油藏开发成本高,采油工艺复杂,需要建立精细的储层地质模型,开展精细的油藏数值模拟,制定经济可行的开发方案实施开发。高含水油田各类钻井众多,地质资料丰富,开发过程长,动态数据丰富,既为正确建立储层地质模型进行油藏数值模拟提供了基础,也带来了数据筛选、计算时间和历史拟合等方面的困难。总之,高含水油田开发是一项十分复杂的油田综合治理工程,油田开发的每一步都面临着复杂的储层沉积学问题。

自 20 世纪 80 年代末参加中国石油天然气总公司“八五”“中国油气储层研究”重点项目以来,笔者研究组结合国家科技攻关计划项目、国家科技重大专项及油田资助课题,以提高油藏采收率为最终追求,以油藏精细表征为目的,以沉积学理论为主导,坚持开展储层沉积学研究,在大庆油田、胜利油田、大港油田、中原油田、河南油田、青海油田、长庆油田等高含水油田开展储层沉积学研究。经过 20 余年的探索,在理论和实践方面都取得了一些进步,形成了较为成熟的储层沉积学研究思路,摸索出了一系列有效的高含水油田储层表征方法,为油田提高采收率做出了一定的贡献,推动了我国高含水油田油藏表征技术的进步。研究工作主要包括以下方面的内容。

(1) 在裴悱楠教授的开发地质学和储层沉积学研究思想指导下提出了储层层次分析方法。借鉴运筹学中层次分析法的基本概念,结合地球和地球科学的层次性特征提出了进行储层表征的工作思路和基本框架。储层研究中的层次分析法提出后,笔者等又进一步完善了层次分析的地质学基础,尝试归纳总结了地质层次性规律,探索层次分析法在地层对比、地质建模等方面的应用,使之成为我们长期以来从事储层研究的一个基本指导思想,得到了国内同行的广泛应用。

(2) 高分辨率层序地层学被邓宏文教授(1995)引入我国后,受到了广泛的关注。笔者通过与美国科罗拉多矿业学院 Cross 教授的长期合作,进一步充实和拓展了高分辨率层序地层学的基本原理与方法,较早地将这一方法在中原油田、大港油田、江汉油田等的开发地质研究和高含水油藏表征中推广应用,有效解决了原来依靠传统方法对比存在的精度不高、准确性不够、科学性不强的缺点,目前高分辨率层序地层学方法已经成为国内各油田的开发地质研究的通用技术。

(3) 开发好高含水油田首先要正确认识和表征储层。钻井岩心的有限性和地球物理

方法的间接性迫使沉积学家开展以储层表征为目的的现代沉积调查、沉积实验模拟和储层露头调查,目的是建立沉积模式,了解储层非均质性,研究砂体的几何形态和内部结构,建立储层表征知识库。结合高含水油田储层沉积学研究需要,笔者先后在河南唐河和泌阳、青海油砂山、鄂尔多斯盆地开展露头调查;在长江、鄱阳湖、洞庭湖进行现代沉积考察,运用长江大学湖盆沉积模拟实验室在室内进行沉积学模拟实验,并将野外考察与室内模拟的结果与油田地下特征比较相结合,为建立储层地质模型提供了有力的支撑,丰富了储层沉积学研究的内容。

(4) 储层地质知识库是建立储层地质模型的保障。没有充分的知识库信息支持,难以建立有效的预测模型。建立知识库的方法有现代沉积调查、沉积模拟、露头调查等方法,当缺乏相似的类比对象时,采用成熟油田的密井网解剖也是获得建模知识库的有效方法。在上述野外和室内工作的基础上,笔者在河南油田等通过密井网解剖建立知识库,通过卫星图像解译建立曲流河建模知识库。经过多年的探索,将知识库内容从定性的经验信息发展到定量的数字信息,把知识库的应用从人工干涉介入发展到使用计算机自动计算输出,把知识库的表达从简单的少量的比例参数发展到用计算机管理的大型自动化知识库。

(5) Miall(1985) 提出河流沉积学中的建筑结构要素分析法后得到了沉积学界的重视,但在储层沉积学中应用并不多。20 世纪 90 年代初,笔者将这一方法应用于长江现代沉积调查、青海油砂山露头调查和河南油田周缘露头调查中,开拓了沉积学野外调查的新手段。之后笔者又率先将储层建筑结构要素分析法应用于河南双河油田的高含水期储层表征工作,受到国内开发地质学界同行的赞誉,这一方法之后在中原、大港、大庆等油田的储层表征中不断完善提高,同时也在全国普遍应用。

(6) 沉积相模式研究是沉积学研究的基本内容,开发地质研究在追踪油田开发静态和动态信息的同时,要结合这些信息不断完善重建储层相模式。笔者在双河油田的研究过程中对已有的扇三角洲模式进行了修订,通过露头调查建立了鄂尔多斯盆地延长组三角洲前缘的席状砂模式、青海油砂山油田的辫状河三角洲模式、现代河流江心洲沉积模式,近年来对浅水三角洲沉积模式的研究,为重新认识油藏提供了新的思路。这些相模式的重建创新了沉积学的研究,对高含水油田开发起到了指导作用。

(7) 储层成岩作用和质量评价是一个重要的储层沉积学问题,储层质量和含油性的检测主要通过对成岩作用的认识和室内实验结果结合储层地球物理方法来实现。笔者在研究过程中对各油田的储层微观特征、物性特征及其形成的控制因素进行了深入的探索,同时探索了一些适合高含水油田的测井解释预测方法。

(8) 建立储层地质模型是储层表征最关键的工作,也是储层沉积学的重要内容。建模需要对砂体的叠置方式、砂体内部建筑结构、储层的物性分布规律、隔层和夹层的分布等进行有效的预测。笔者等长期坚持地质统计学方法探索,在随机建模方面形成了一系列技术,在隔层预测、沉积相随机建模技术领域取得了一批创造性的成果。高含水油藏开发的目的是认识剩余油的分布并采取有效的手段尽可能提高剩余油的采收率。笔者等通过多年对多个高含水油田的研究,形成了一系列结合地质研究与生产动态预测剩余油的有效方法,这些方法与油田采油工艺相结合,有效地提高了采收率。

为了与国内外同行交流研究心得,进一步推广已有的研究成果,使之在高含水油田开发中发挥更大的作用。笔者研究组将 20 余年来在高含水油田(包括少量气田)储层沉积学研究方面的成果集结成《高含水油田储层沉积学》这本专著。本书由张昌民提出总体编写思路和编写大纲,负责全书的统稿工作。各章节的编写分工如下:前言、第 1 章、第 4 章和第 6 章由张昌民编写;第 2 章和第 7 章由张尚锋编写;第 3 章、第 5 章、第 11 章、第 12 章由尹太举编写;第 8 章由王振奇编写;第 9 章由尹艳树编写;第 10 章由李少华编写;朱锐负责参考文献的整理及部分章节内容的编写;研究生刘江艳、黄苓渝、潘进、袁瑞、李强、李思辰、柴琳、黄远光、程丹、胡慧、丁云、张坦、陶金雨、郭志辉、胡威、赵康、毕亦巍、李会丽、双棋等参与了书中图件的清绘和文稿的整理工作。需要说明的是,虽然书中各章节由一位教授编写,但其内容中所引用的研究报告、研究论文等是项目组师生多年来共同研究的成果。

本书所涉及的研究工作得到以下基金及项目的支持:国家重大科技专项“高含水油田提高采收率新技术(2008ZX05010)”“储层结构单元建模算法及软件研究(2008ZX05011-003)”“惠州地区新近系三角洲体系地层岩性油气藏的识别和预测(2008ZX05023-002-002)”“剩余油分布综合预测与精细注采结构调整技术(2011ZX05010-002-005)”“储层内部结构建模软件研制(2011ZX05011-001)”“白云北坡陆架坡折带地层岩性油气藏的识别和预测(2011ZX05023-002-007)”“深层优势储层沉积成因机制及地质预测技术(2016ZX05027)”;国家重点基础研究发展计划(973)项目“高效天然气藏形成分布与凝析低效气藏开发的基础研究”(2001CB209106);国家自然科学基金项目“叠覆式浅水三角洲形成机理及内部结构解剖(41172106)”“基准面旋回的理论解析与定量层序地层模型(40572078)”“三角洲储层密井网地质知识库建立及其应用(40602013)”“浅水湖盆三角洲沉积调查与物理模拟(41072087)”“点坝砂体内部非均质性的层次建模法(41272136)”“一种薄夹层精细地质模型的粗化方法——网格边缘属性建模法(41572121)”“曲流河储层精细地质建模方法研究(140902043)”“三角洲前缘储层多点地质统计建模方法研究(41572081)”;中国石油天然气股份有限公司(以下简称中国石油)专项研究课题“柴达木盆地跃进油区主力油藏三维地质建模及剩余油数模方案研究(08Z0109-1)”“鄂尔多斯盆地上古生界水槽模拟实验研究(2011H0136)”“白驹油田开阳-开泰断块精细油藏描述及开发调整方案研究(09H1018-1)”“剩余油分布综合预测与层系井网重组技术(2010Z0113-1)”“渤海新近系沉积体系研究(07Z0103)”中石油油田委托课题“冲积扇砾岩储层地质建模方法研究”(K11-67)。

本书是长江大学剩余资源研究组全体师生 20 余年来主要学术成果的总结,也是湖北省储层精细表征与建模科技创新群体(2016CFA024)的研究成果之一,其中凝聚了研究团队教师和百余名研究生、本科生的心血和汗水,包括江汉石油学院(现长江大学)储层研究室刘怀波教授、林克湘教授、徐龙副教授、雷卞军教授、何贞铭教授、汤军教授、赵明跃副教授、施冬教授等先后所做的一些重要的研究工作,为本书的形成打下了良好的基础。笔者 20 余年来在中国石油化工股份有限公司(简称中国石化)江汉油田分公司、中石化河南油田分公司、中石化中原油田分公司、中国石油大港油田分公司、中国石油大庆油田分公司、中石化胜利油田分公司、中国石油青海油田分公司、中国石油长庆油田分公司等工作期

间,得到了各油田专家和领导,以及广大校友的积极支持和热情关照,令人十分感动。长江大学剩余资源研究组全体成员特别感谢中石化江汉油田分公司方志雄总经理,河南油田分公司李联伍局长、樊中海副总经理、宋振宇总地质师、邱荣华副局长、赵云征主任、陈程工程师、鲁国甫工程师,中国石化中原油田研究院李健院长、曾大乾教授、李忠超总地质师、毛立华教授,中国石油大港油田分公司黄再友所长、蔡明俊副总工程师,中国石油大庆油田分公司李伯虎教授、赵翰卿教授、巢华庆总地质师,中国石化胜利油田分公司王军教授,中国石油青海油田分公司研究院范连顺院长、屈平彦总地质师、马文雄科长,中国石油长庆油田分公司程启贵处长,中国石油勘探开发研究院宋新民副院长、穆龙新副院长、田昌炳所长、叶继根副所长、鄂尔多斯分院贾爱林院长,中国石油煤层气有限责任公司胡爱梅副总经理等在研究期间给予的帮助和关心。上述许多专家和领导都已经变换了工作岗位和职称,有的专家已退休,但回想起与他们合作研究的岁月,仍然倍感亲切。

衷心感谢裴悻楠教授几十年来的教诲、指导和关心,感谢他亲笔为本书题序。

由于笔者水平有限,书中难免存疏漏之处,敬请广大同行和读者批评指正。

张昌民

2016年4月

目 录

序

前言

第 1 章 储层层次分析的基本原理及其应用	1
1.1 地质层次律	1
1.1.1 宇宙与地球的层次性特征	1
1.1.2 地质系统层次性的哲学思考	4
1.1.3 地质层次的划分原则	5
1.1.4 地质层次律的规律	7
1.1.5 地质层次律的认识论方法论意义	9
1.2 储层层次分析法原理	10
1.2.1 层次表征与层次建模的理论依据	10
1.2.2 层次分析的目的	11
1.2.3 储层层次分析的基本思路	11
1.3 储层层次划分与对比方法	15
1.3.1 储层层次划分与对比的沉积学基础	15
1.3.2 地层划分与对比的思路	16
1.3.3 地层划分与对比的方法	17
1.4 坪北油田长 4+5 段—长 6 段油层组基准面旋回层次分析	22
1.4.1 基准面旋回的层次划分	22
1.4.2 长 4+5 段—长 6 段油层组的层次划分与对比	24
1.5 双河油田泥质隔层的层次分析	27
1.5.1 隔层层次分析的原理	27
1.5.2 隔层层次划分	28
1.5.3 隔层层次描述	28
1.5.4 隔层层次解释	31
1.5.5 隔层层次预测	32
1.6 马厂油田储层层次结构分析	34
1.6.1 马厂油田储层层次划分	34
1.6.2 层次实体分析	34
1.6.3 单砂体储层建筑结构模型	36
1.7 周清庄生物屑灰岩储层的定量层次分析	38
1.7.1 地质背景	38

1.7.2 储集体规模预测	38
1.7.3 储层非均质性层次分析	39
1.8 低效气藏成因层次剖析	43
1.8.1 第1层次:生产层面	43
1.8.2 第2层次:现今地质特征层面	44
1.8.3 第3层次:历史地质成因层面	46
1.8.4 第4层次:预测层面	47
参考文献	48
第2章 高分辨率层序地层分析	52
2.1 基准面及基准面升降原理	53
2.1.1 基准面的概念及其沿革	53
2.1.2 基准面的影响因素	54
2.1.3 基准面的运动	63
2.1.4 基准面旋回与层因层序	66
2.2 坪北油田长6段油层组基准面旋回层序分析	67
2.2.1 基准面旋回层序划分	68
2.2.2 基准面旋回层序对比与地层格架	70
2.3 钟市油田潜江组含盐层系基准面旋回层序分析	71
2.3.1 基准面旋回识别	72
2.3.2 基准面旋回层序地层格架建立	75
2.3.3 层序格架内砂体分布	76
2.4 基准面旋回层序内河道砂体形态特征分析	78
2.4.1 基准面旋回划分	79
2.4.2 河道砂体的类型及其特征	81
2.4.3 砂体几何形态及其变化规律	81
2.5 濮城油田沙三中亚段1~5砂组基准面旋回层序分析	84
2.5.1 水下扇储层基准面旋回识别	85
2.5.2 测井基准面旋回识别	89
2.5.3 层序对比及地层格架的建立	90
2.5.4 基准面旋回内砂体展布规律	90
2.6 濮城油田沙三中亚段6~10砂组基准面旋回内储层非均质性	92
2.6.1 储层层序地层格架	92
2.6.2 层序格架内储层非均质特性	94
2.6.3 基准面旋回内原始储量分布特征	99
2.6.4 基准面旋回格架内砂体开发响应及剩余油分布	99
参考文献	102
第3章 现代沉积调查与沉积模拟	106
3.1 长江荆江段马羊洲现代沉积调查	106

3.1.1	马羊洲南缘沉积特征	107
3.1.2	马羊洲支汊河床沉积特征	109
3.1.3	层理特征及其成因	113
3.1.4	讨论	114
3.2	洞庭湖和鄱阳湖现代沉积调查	115
3.2.1	洞庭湖现代三角洲沉积	116
3.2.2	鄱阳湖现代三角洲沉积	119
3.2.3	浅水三角洲砂体形态成因探讨	123
3.3	物理沉积模拟实验	125
3.3.1	沉积模拟实验概况	125
3.3.2	沉积模拟实验装置	130
3.3.3	四川盆地须家河组(须一段~须三段)沉积模拟实验模型	131
3.3.4	四川盆地须家河组(须一段~须三段)沉积模拟实验	137
3.3.5	四川盆地须家河组(须一段~须三段)沉积模拟结果分析	142
3.3.6	大面积砂岩形成控制因素和形成模式	149
3.4	河控三角洲沉积体系的数值模拟研究	159
3.4.1	河口区水动力特征	160
3.4.2	水力学数值模拟方法	161
3.4.3	模型设置	163
3.4.4	模型计算结果	166
3.5	地层基准面旋回的一维定量模型	176
3.5.1	定量模型建立的依据和假设	176
3.5.2	定量模型的建立	177
3.5.3	模型分析	179
3.5.4	应用与讨论	181
	参考文献	183
第4章	沉积储层露头调查	186
4.1	概述	186
4.1.1	露头研究的特点	186
4.1.2	露头的研究方法	187
4.1.3	露头调查的内容与实施	188
4.2	河南桐柏栗园扇三角洲露头调查及其对地下地质分析的启示	189
4.2.1	栗园扇三角洲露头沉积特征	189
4.2.2	沉积建筑结构特征	196
4.2.3	沉积机理与建筑结构要素叠置组合方式	199
4.2.4	对地下储层建筑结构分析的启示	200
4.3	青海油砂山油田第68层分流河道砂体解剖学	201
4.3.1	砂体沉积地质背景	201

4.3.2	岩石相类型及其组合	202
4.3.3	界面层次与建筑结构	203
4.3.4	储层地质模型比较	205
4.4	延河剖面的沉积特征	206
4.4.1	延河剖面沉积地球化学特征	207
4.4.2	岩石相类型和成因相特征	211
4.5	延河谭家河剖面储层沉积学解剖	218
4.5.1	地层分层精细描述	218
4.5.2	分层沉积环境分析	221
4.5.3	高分辨率层序地层学解释对比	224
4.5.4	成因砂体的连续性	227
4.5.5	谭家河剖面西段	231
4.5.6	谭家河东延河北岸河口坝体系精细解剖	231
4.6	延河朱家湾剖面储层沉积学解剖	232
4.6.1	沉积相分析	232
4.6.2	砂体连续性	235
4.6.3	层序地层学特征	236
4.6.4	朱家湾村北水下分流河道-河口坝体系中的侧积体	238
4.7	延河张家滩中学东剖面储层沉积学解剖	239
4.7.1	剖面描述	239
4.7.2	层序地层特征	242
4.8	延河剖面其他典型露头储层沉积学解剖	243
4.8.1	张家滩东剖面	243
4.8.2	枣林村剖面	246
4.8.3	芝王川剖面	248
4.9	露头信息对研究三角洲前缘席状砂的启示	248
4.9.1	来自露头的证据	249
4.9.2	来自地下的证据	250
4.9.3	席状砂的形成过程	250
4.9.4	三角洲前缘席状砂的建筑结构与非均质性	251
	参考文献	252
第5章	高含水油田储层地质知识库研究	254
5.1	地质知识库的概念	254
5.1.1	地质知识库的基本概念	254
5.1.2	地质知识库的知识来源	255
5.1.3	储层地质知识库的建库步骤和基本内容	261
5.1.4	不同知识获取方法比较	262
5.2	基于露头测量获取三角洲砂体地质知识库	263

5.2.1 露头测量方法与内容	263
5.2.2 露头剖面岩石相知识	264
5.2.3 不同岩石相的孔隙度与渗透率	264
5.2.4 砂体构成及形态特征	265
5.2.5 砂体的宽厚比关系	267
5.2.6 砂体的孔渗特征	268
5.2.7 原型模型的构建	269
5.3 应用密井网地层对比获取扇三角洲前缘地质知识库	270
5.3.1 建库流程	270
5.3.2 岩电关系知识	275
5.3.3 岩石相规模知识	286
5.3.4 单砂体规模	293
5.4 基于卫星遥感照片建立地质知识库	295
5.4.1 基于 Google Earth 的沉积体几何形态参数测量	296
5.4.2 点坝砂体几何学参数	300
5.5 基于沉积模拟实验获取河口坝地质知识库	303
5.5.1 知识库参数及其获取方法	303
5.5.2 定量几何形态参数特征	304
5.6 Lidar 技术在地质知识库建立中的应用	307
5.6.1 Lidar 技术的研究进展	307
5.6.2 Lidar 技术原理	308
5.6.3 Lidar 技术特点	309
5.6.4 Lidar 资料采集与处理	310
5.6.5 Lidar 资料应用	311
5.7 虚拟地质露头——全新的地质知识库	312
5.7.1 虚拟地质露头原始信息获取	312
5.7.2 虚拟地质露头建立	312
5.7.3 虚拟地质露头的应用	313
5.8 服务于多点地质统计学地质知识库软件平台	314
5.8.1 服务于多点地质统计学的新型地质知识库表现形式	314
5.8.2 地质知识库软件系统	317
参考文献	321
第 6 章 储层建筑结构分析	324
6.1 基本概念与基本原理	324
6.1.1 储层建筑结构	324
6.1.2 储层建筑结构要素分析法	326
6.1.3 储层建筑结构层次分析法	332
6.2 现代河流江心洲的建筑结构分析	333

6.2.1	江心洲沉积的岩石相及其组合	334
6.2.2	江心洲沉积的上部层序	336
6.2.3	江心洲沉积的建筑结构要素	337
6.3	南襄盆地西大岗剖面砂体建筑结构特征	338
6.3.1	砂体沉积特征	338
6.3.2	沉积界面与沉积事件	339
6.3.3	砂体建筑结构对剩余油的控制作用	340
6.3.4	问题讨论	340
6.4	双河油田扇三角洲储层建筑结构分析	341
6.4.1	储层双河油田层次划分	341
6.4.2	岩石相与建筑结构要素的岩电特征	344
6.4.3	建筑结构要素预测模型的建立	353
6.4.4	双河油田扇三角洲前缘储层建筑结构特征	359
6.5	大庆油田辫状河储层建筑结构分析	366
6.5.1	大庆长垣 PI3 小层辫状河储层沉积机理	366
6.5.2	建筑结构要素识别	370
6.5.3	建筑结构要素的内部构成分析	376
6.6	大庆油田高弯曲流河储层建筑结构分析	380
6.6.1	高弯曲流河的沉积机理	380
6.6.2	单一河道的建筑结构解剖	384
6.6.3	点坝的建筑结构解剖	390
6.7	大庆油田低弯曲流河储层建筑结构分析	395
6.7.1	低弯曲流河的沉积机理	395
6.7.2	河道带建筑结构解剖	396
6.7.3	单期河道砂体建筑结构解剖	398
6.7.4	河道及砂体的接触关系	403
	参考文献	404
第7章	储层相模式研究	407
7.1	渤海湾盆地浊积岩特征及其沉积模式	407
7.1.1	沾化凹陷渤南-区沟道化浊积岩沉积模式	407
7.1.2	东营凹陷河 135 及河 110 井区滑塌浊积岩沉积模式	411
7.2	濮城油田沙三中亚段水下扇沉积模式	412
7.2.1	岩石学特征	412
7.2.2	沉积特征	414
7.2.3	沉积模式	417
7.3	赵凹油田安棚深层系扇三角洲沉积模式	417
7.3.1	相标志	418
7.3.2	沉积相类型及沉积模式	420

7.4 泌阳凹陷扇三角洲沉积模式	422
7.4.1 吉尔伯特模式遇到的挑战	423
7.4.2 沉积构造及其动力学解释	424
7.4.3 沉积层序特征	425
7.4.4 沉积机理	427
7.4.5 垂向层序的形成机理与模式	429
7.4.6 讨论	431
7.5 钟市油田潜江组扇三角洲沉积模式	432
7.5.1 岩石相	432
7.5.2 扇三角洲沉积特征	433
7.5.3 沉积相模式	434
7.6 鄂尔多斯盆地延长组浅水三角洲沉积模式	434
7.6.1 浅水三角洲沉积亚相类型及特征	435
7.6.2 浅水型三角洲沉积模式	438
7.7 分流河道型和分流沙坝型浅水三角洲沉积模式	439
7.7.1 河口区沉积特征	440
7.7.2 浅水三角洲的识别与砂体形态追踪	442
7.7.3 浅水三角洲沉积模式	443
7.7.4 讨论	446
7.8 叠覆式浅水三角洲沉积模式	447
7.8.1 叠覆式三角洲发育过程	448
7.8.2 叠覆式三角洲沉积模式	450
7.8.3 讨论	453
参考文献	457
第8章 储层成岩作用和质量评价	461
8.1 王官屯油田孔店组一段碎屑岩储层特征	461
8.1.1 储层	461
8.1.2 孔隙结构模式	465
8.2 南堡凹陷下第三系储层特征及其影响因素	466
8.2.1 岩矿特征	467
8.2.2 物性特征	467
8.2.3 物性影响因素分析	469
8.3 牛心坨油田牛心坨油层储集条件研究	471
8.3.1 砂体物性特征	472
8.3.2 砂岩孔隙结构特征	472
8.3.3 成岩作用对储集性能的影响	474
8.4 赵凹油田安棚区深层系低渗致密砂岩储层特征	475
8.4.1 孔隙结构特征	476