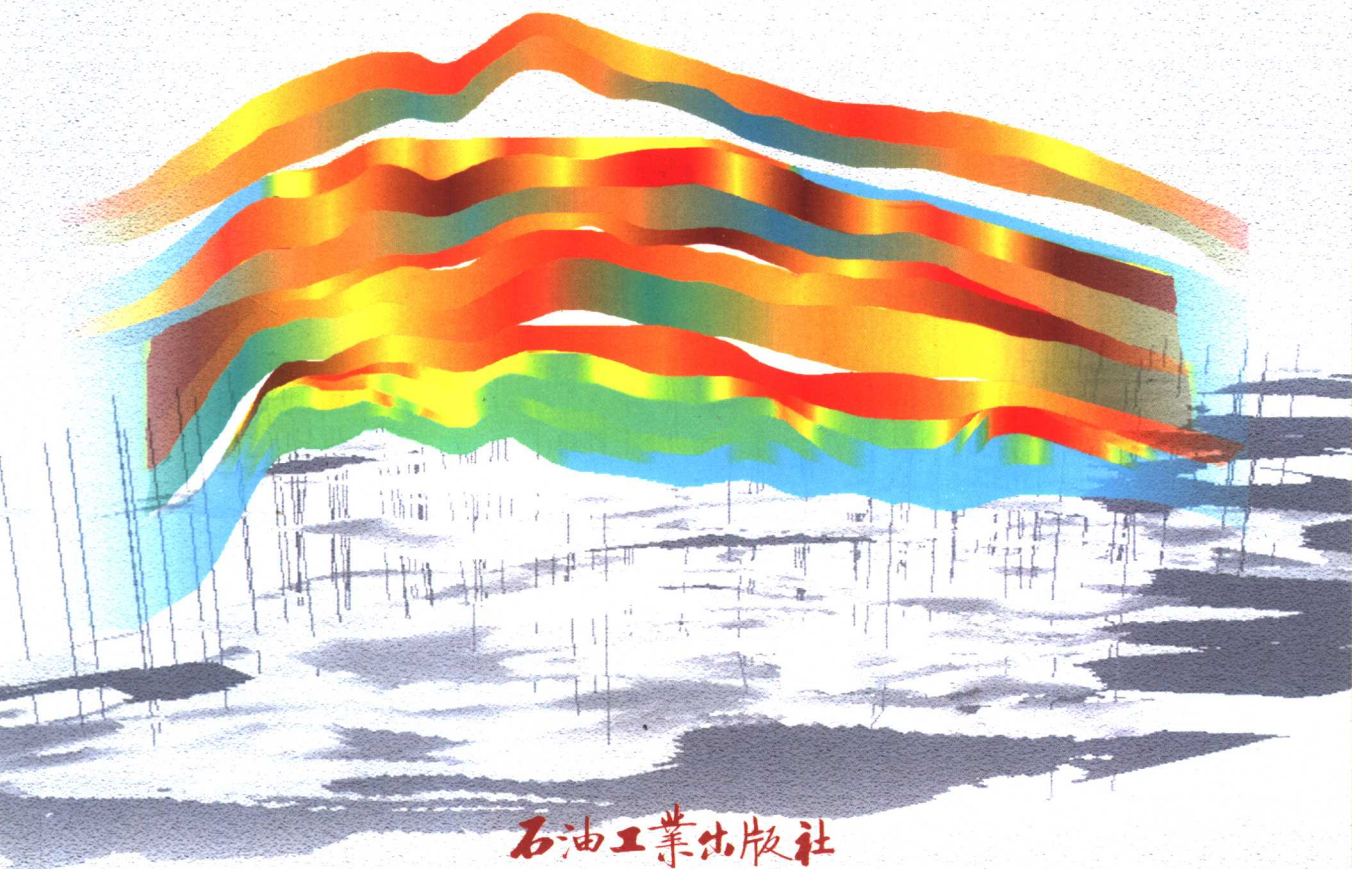


李 阳 刘建民 著

油藏开发地质学

YOU CANG KAIFA DIZHI XUE



石油工业出版社

油藏开发地质学

李 阳 刘建民著

石油工业出版社

内 容 提 要

该书系统论述了油藏开发地质学理论基础、研究方法及技术,在构造方面阐明了低级序断层及储层微构造的表征及其对剩余油形成分布的作用;在储层研究方面论述了隔夹层识别描述、流动单元、油藏流场、非均质分割作用研究方法技术;在油藏建模方面发展了油藏四维动态模型及仿真模型建模方法和技术;在剩余油研究方面提出了分割控油机制和定量描述技术。

本书可供油田开发工作者及大专院校、科研单位相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

油藏开发地质学 / 李阳等著.
北京:石油工业出版社,2007.3
ISBN 978-7-5021-5962-7

I . 油…

II . 李…

III . 油田开发 - 石油天然气地质 - 研究

IV . P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 028525 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.cn
发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店
印 刷:石油工业出版社印刷厂

2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷
787×1092 毫米 开本:1/16 印张:17.75
字数:450 千字 印数:1—1000 册

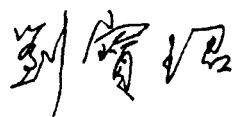
定价:80.00 元
(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)
版权所有,翻印必究

序

油藏开发地质学是一门和石油地质学交叉的分支学科。同时，油藏开发地质学又是一门实践性和不断发展的学科。由于我国陆相油藏的复杂性，如沉积类型复杂、储层非均质性强等特征，在吸收国外海相油藏开发技术的基础上，经过国内广大油田开发地质工作者的努力，陆相油藏开发地质研究一直处于国际的前列。自 20 世纪 90 年代以来，国内东部主力油田陆续进入高含水开发阶段，由于陆相油藏的特点，水驱采收率较低，因此如何进一步认识剩余油形成的机理和分布规律、提高采收率，给油藏开发地质研究提出了新的课题。《油藏开发地质学》一书不仅系统总结了我国油藏开发地质学已有的成就，也反映了这一课题研究的新成果，进一步丰富了油藏开发地质学的理论和内涵。

本书的作者是胜利油田开发的主要实践者之一。胜利油田断裂构造发育，油藏类型多，这些不同类型油气田的成功开发，为油藏开发地质学积累了丰富的实践经验，本书就是这些实践经验的系统总结和理论升华。该书的主要特色是系统地论述了油藏静态、动态、仿真模型概念，建立了典型的中高渗透砂岩油藏、低渗透砂岩油藏静态、动态模型；提出流体开发动力地质作用是致使储层参数演化机理、规律的主要因素，系统论述了剩余油形成机理、分布规律和模式，形成了“分割控油”剩余油富集规律的理论认识和剩余油富集区预测与定量描述技术，为提高采收率提供了科学依据。

相信本书的出版不仅会对已进入高和特高含水开发阶段的中国东部老油田进一步提高采收率具有重要的指导意义，而且为油藏开发地质学在 21 世纪取得更大的发展和进步提供了一个坚实的理论基础。



2006 年 12 月 3 日

序

石油开发地质学,这一门服务于油气田开发、又是随着油气田开发的深化而发展的石油地质学的应用分支学科,近40多年来,在我国有着很多重要的发展。特别是我国广泛采用注水开发油田技术,各油区很多主力大油田在长期高产稳产和取得高采收率方面,都处在国际石油工业界的先列,广大油田开发地质工作者不仅为生产实践作出了重要贡献,同时也在很多重要领域上发展了石油开发地质学的理论和技巧方法。随着我国各大主力油田逐步进入注水开发的高含水阶段,油田开发如何进一步提高石油采收率出现了很多新的矛盾和问题,也正是这些问题向开发地质工作又提出了很多新的挑战。本书,《油藏开发地质学》在这一新

的形势下应运问世,是我国石油开发地质界一件重要的幸事。因为它不仅比较系统地总结了我国石油开发地质学已取得的成就,而且对凉水开发油田高含水阶段的开发地质问题进行了很多新的探索,在成功实践的基础上,得出了一些重要的认识。

本书的作者是我国第二大油区——胜利油区成功实践的主要参与者。胜利油区的复杂地质背景形成了众多的油藏类型,在开发地质工作上积累了大量丰富的经验,特别是边油田进入高含水开采以后,在继续增储与提高采收率方面作出了很多骄人的成就。实践出真知,本书宝贵之处正是他们对多年实践的昇华。本书主要以凉水开发40多年的胜利油田馆陶组、沙河街组中高渗透砂岩油藏的实践为基础,系统地论

述了油藏开发地质学的基础理论和技巧方法,特别是在建立油藏动态模型和仿真模型的探索,揭示长期冷水开发油藏储层性质的变化,以及宏观微观非均质特征的变化和相应地提出油藏流场的理念,流砂单元的研究方法,开发后期解决层内矛盾的关键——隔、夹层的原因和预测技巧,以及揭示油藏宏观、微观剩余油分布规律等,油田开发后期新出现的油田开发地质问题,是本书创新性地具有超前探索的著作。科学发展的规律告诉我们,完全有理由于期这些问题的提出和逐步解决,不仅对油田开发的深化和采收率的提高会作出新的贡献,也将进一步丰富和提高石油开发地质学的研究领域和水平。我深信本书的出版将会引起国内广大同行们的关注和捧青后继者的启迪,进一步推动具有我国特色的石油开发地质学的发展和前进!

裴泽楠
2006年11月25日

前 言

纵观我国陆相油气田勘探开发的历程，也是石油地质理论和勘探技术创新，油气田开发地质理论和技术创新不断发展和深化的历程。石油地质理论突破了陆相生油禁区，发展形成了陆相油气成藏理论。油藏开发过程与油气成藏过程的主要区别在于，油气聚集成藏是油驱水的过程，而油藏开发特别是水驱开发是水驱油的过程，因此两者的研究内容和研究重点存在不同。这就促使了围绕以认识油藏水驱油规律和剩余油分布状况为主要目标的油藏开发地质理论和研究技术的不断深化和发展，逐渐形成了油藏开发地质学分支学科。我国东部油气田主要分布在陆相断陷湖盆中，储层非均质强，油田开发的难度大。近年来油藏开发地质学在我国东部各主力油田深化开发和继续提高采收率需求推动下，在储层沉积学、油藏建模及剩余油研究方面都取得了较大的进展，系统总结这些新进展及理论方法技术，不仅有利于进一步指导东部老油田提高采收率和新区油藏的高水平开发，也会进一步推动油藏开发地质学向更深层次发展。

本书是笔者近年来承担国家级、省部级科技攻关课题和生产实践的主要成果，研究区主要是注水开发 40 余年，也是我国第二大油田的胜利油田馆陶组、沙河街组中高渗透和低渗透砂岩油藏，以及近年来在勘探和开发上取得突破性进展的碳酸盐岩油藏。这些油藏多数已经历了数十年注水开发历程，进入了高或特高含水阶段，要进一步提高采收率，必须深化发展油藏开发地质学的理论和方法技术，建立油藏三维、四维非均质动态、仿真模型，揭示油藏参数在三维、四维的非均质动态演化机理、演化规律，预测可动剩余油宏观、微观形成机理和分布规律。

本书共分十二章，其中前十一章系统论述了陆相碎屑岩油藏开发地质学理论、方法和技术，第十二章主要论述了近年来我国在碳酸盐岩油藏开发地质学研究方面的探索和进展。第一章总论，论述了油藏开发地质学的内涵，油藏开发地质学发展历程及国内外研究现状，油藏开发地质学主要研究内容和特色，油藏开发地质学的理论和方法技术，油藏开发地质学的展望和发展趋势。第二章油藏构造研究，阐明了低级序断层描述与组合，断层封闭性评价，油藏微构造研究。第三章储层研究，阐述了储层的概念及分类，储层研究的方法技术，储层的形成机理和控制因素，储层分布规律，储层非均质性。第四章隔夹层研究，论述了隔夹层的概念，隔夹层研究的方法技术，隔夹层形成机理和控制因素，隔夹层分布规律，隔夹层类型。第五章储层微观研究，论述了储层微观研究的范围及内容，储层微观研究的原理和方法技术，储层微观特征，储层微观非均质性，储层微观特征形成机理和控制因素，储层微观模型研究。第六章储层非均质性研究，阐明了油气储层非均质性概念，油气储层非均质性研究方法和技术，油气储层非均质性分布规律，油气储层非均质性模型。第七章储层流动单元研究，阐述了储层流动单元概念，储层流动单元研究的原理和方法，流动单元形成机制和分布规律，流动单元非均质性，储层流动单元模型。第八章油藏模型研究，阐述了油藏地质模型的内涵，油藏地质模型研究方法，油藏地质建模可视化系统，油藏地质模型研究进展。第九章中高渗透砂岩油藏模型，阐明了中高渗透砂岩油藏静态模型和油藏动态模型。第十章低渗透砂岩油藏模型，阐述了低渗透砂岩油藏概念及基本特征，低渗

透砂岩储层形成的地质环境,低渗透砂岩油藏储层预测和评价技术,低渗透砂岩油藏储层非均质性,低渗透砂岩油藏模型。第十一章剩余油研究,论述了剩余油的内涵,剩余油研究的方法和技术,剩余油形成机理和控制因素,剩余油宏观分布规律,剩余油微观分布规律,剩余油模型。第十二章碳酸盐岩油藏的开发地质学研究,论述了碳酸盐岩油气藏形成的地质环境及控制因素,碳酸盐岩油藏储层类型,碳酸盐岩油藏模型的内涵及建模技术,碳酸盐岩油藏模型。

该书系统论述了油藏开发地质学理论基础、研究方法及技术,在构造方面阐明了低级序断层及储层微构造的表征及其对剩余油形成分布的控制作用;在储层研究方面论述了隔夹层识别描述、流动单元、油藏流场、非均质分割作用研究方法技术;在油藏建模方面发展了油藏四维动态模型及仿真模型建模方法和技术;在剩余油研究方面提出了分割控油机制和定量描述技术。望该书的出版对油藏开发地质学及剩余油研究领域能起到抛砖引玉的作用,推动我国油气田开发事业的快速发展。

刘宝珺院士、裘亦楠副总地质师在百忙之中对书稿进行了审查,并提出了宝贵意见,中国石油大学信醛麟教授、刘泽容教授对本书提出了许多建设性的意见,并不辞辛苦地对全书进行了统稿,胜利油田杨勇高级工程师、杨宏伟高级工程师,中国石油大学金强教授、侯加根教授、徐守余教授,成都理工大学刘树根教授等都对本书的修改完善提出了宝贵意见,在此对他们的大力支持和帮助一并表示感谢!

因笔者时间仓促,水平有限,书中不当之处,欢迎专家和同行批评指正。

目 录

第一章 总论	(1)
第一节 油藏开发地质学的内涵	(1)
第二节 油藏开发地质学发展历程及国内外研究现状	(2)
第三节 油藏开发地质学主要研究内容和特点	(4)
第四节 油藏开发地质学研究的理论和方法	(8)
第五节 油藏开发地质学展望和发展趋势	(10)
第二章 油藏构造研究	(12)
第一节 低级序断层描述	(12)
第二节 断层封闭性评价	(34)
第三节 微构造研究	(36)
第三章 储层研究	(40)
第一节 储层的概念及分类	(40)
第二节 储层研究方法和技术	(40)
第三节 储层的形成机理和控制因素	(57)
第四节 裂缝型储层研究的理论及方法	(59)
第四章 隔夹层研究	(67)
第一节 隔夹层概念	(67)
第二节 隔夹层形成机理和控制因素	(69)
第三节 隔夹层分布规律	(72)
第四节 夹层预测方法和技术	(78)
第五节 隔夹层模型	(85)
第五章 储层微观研究	(92)
第一节 储层微观研究的内容	(92)
第二节 储层微观研究方法和技术	(92)
第三节 储层微观特征	(94)
第四节 储层微观特征形成机理和控制因素	(97)
第六章 储层非均质性研究	(100)
第一节 储层非均质性概念	(100)
第二节 储层非均质性研究方法	(101)
第三节 储层非均质性分布规律	(104)
第四节 储层非均质性模型	(114)
第七章 储层流动单元研究	(117)
第一节 储层流动单元概念	(117)
第二节 储层流动单元研究方法	(118)
第三节 储层流动单元模型	(128)

第八章 油藏模型研究	(134)
第一节 油藏模型概念	(134)
第二节 油藏模型研究的方法和技术	(135)
第三节 油藏流场研究	(149)
第九章 中高渗透砂岩油藏模型	(162)
第一节 中高渗透砂岩油藏静态模型	(162)
第二节 中高渗透砂岩油藏动态模型	(176)
第十章 低渗透砂岩油藏模型	(185)
第一节 低渗透储层形成的地质环境	(186)
第二节 低渗透储层预测和评价技术	(188)
第三节 低渗透砂岩油藏地质模型	(196)
第十一章 剩余油研究	(203)
第一节 剩余油的内涵	(203)
第二节 剩余油研究方法技术	(203)
第三节 剩余油形成机理和控制因素	(214)
第四节 剩余油分布规律	(233)
第五节 剩余油模型	(237)
第十二章 碳酸盐岩油藏的开发地质学研究	(240)
第一节 碳酸盐岩油气藏形成的地质环境和控制因素	(240)
第二节 碳酸盐岩油藏储层类型	(243)
第三节 碳酸盐岩油藏模型的内涵及油藏建模	(244)
第四节 碳酸盐岩油藏模型	(249)
参考文献	(261)

第一章 总 论

油藏开发地质学是构造地质学、沉积学、石油地质学、储层地质学、地质统计学和油藏工程多学科结合的边缘学科。它伴随石油工业的发展而发展起来,自 20 世纪 30—50 年代以油藏概念模型和一、二维研究为主的早期发展阶段,60—80 年代以三维油藏静态模型为主的快速发展阶段,90 年代至今以精细油藏描述技术和四维模型为核心的成熟阶段,共经历了三个发展阶段。目前油藏开发地质学已成为油藏开发不可缺少的基础学科之一,为石油工业的发展做出了突出贡献。

第一节 油藏开发地质学的内涵

油藏开发地质学主要研究对象为油藏构造、储层、流体及其在开发过程中的演化四大主题,主要研究内容包括油藏非均质性、及其导致的动静非耦合性对驱油的控制作用机理、相关表征方法与技术。其核心研究内容是油藏非均质性及其动态演化、非均质渗流机理、剩余油形成机理。油藏开发地质学的主要目的和任务是综合应用多学科的理论和方法,一维、二维、三维、四维相结合,动、静相结合,研究、预测和表征油藏构造、地层、储层属性参数、储集砂体成因、隔夹层、流体等,及其非均质特征;揭示油藏内部结构和流体运动规律,阐明油田开发中剩余油的形成机理与分布规律。

在我国石油工业发展历程中,石油开发地质工作很早就受到极大的重视。早在 20 世纪 60 年代初期,大庆油田建立了油田地质学方面的科研、生产实体,创建了独树一帜的针对我国陆相储层的油砂体研究理论和研究方法。近十几年来,随着国内外油气勘探和开发成熟度的提高,主要产油国家都将注意力转向提高老油田采收率上来,促进了油藏开发地质学的快速发展,新技术、新方法不断涌现。小尺度的露头调查测量、成像测井、油藏综合地球物理、地质统计学、随机建模和计算机等技术的出现,以及这些技术的协同综合,正逐步实现油藏开发地质学工作由宏观向微观(大尺度到小尺度)和由定性向定量发展。国内外各种出版物上每年都有数以百计针对油藏开发地质学的论文和著作发表,这无疑促进了油藏开发地质学的发展,也是油藏开发地质学发展的动力。然而,从油藏开发地质学发展和油藏开发实践需求的角度来看,油藏开发地质学的理论体系仍需要不断深化完善,研究方法和技术手段也必须不断更新。

石油工业包括石油勘探与石油开发两大主干专业,石油勘探工作的主要任务是经济快速地发现油气田,用最短时间探明盆地内主力油气田的分布和储量;石油开发工作的主要任务是在发现油气田之后,经济地、以尽可能高的采收率将地下储层中的油气开采出来。无论石油勘探还是石油开发工作,都要以石油地质学及相关基础地质学科的理论和方法做为指导。但因油气勘探和开发的目的不同,需要研究的石油地质问题和地质工作方法就有所不同。可以这样形象地概括两者的差别:油藏勘探地质学家们必须研究和掌握的是石油如何从生成到油气藏形成聚集的规律;而油藏开发地质学家们则是研究和揭示哪些地质因素控制和影响油气从油气藏中采出来。伴随着石油工业的发展,石油地质学的科技工作也

必然会逐渐发展为石油勘探地质学和石油开发地质学两大分支（表 1-1），这两大分支学科的分工于 20 世纪 70 年代末发展成熟。

表 1-1 石油勘探地质学与石油开发地质学简述表（据裘亦楠）

学科 内涵	石油勘探地质学	石油开发地质学
主要任务	寻找、发现油气藏、计算储量	开发油气田、提高采收率
研究对象	含油气盆地、油气藏	油气田（藏）
研究阶段	盆地分析→预探井钻探有利圈闭→发现油气藏→储量计算	评价油气田→开发油气田至废弃
研究内容	盆地内油气生成至油气藏形成的全过程，油气藏分布规律	油气田（藏）内油气水形成分布，油田开发影响控制因素，提高采收率，地质环境与灾害
研究层次	含油气盆地→油气藏	油气田→油气藏→流动单元→油藏流场

第二节 油藏开发地质学发展历程及国内外研究现状

油藏开发地质学大概经历了以下的发展阶段（表 1-2）。

表 1-2 开发地质学发展演化简表

发展阶段、发展时期	研究单元	应用的学科理论	研究内容和成果
早期发展阶段： 20 世纪 30 年代初至 50 年代末	油区、油藏、小 层	石油地质学理论及衍生的 油矿地质学及沉积学理论	构造图、等厚图，几个储层平均参数的油藏原始概念模型和后期的建立小层为单元的油藏概念地质模型
快速发展阶段： 20 世纪 60 年代初至 80 年代末	油砂体	沉积学、储层地质学	建立油砂体为单元的储层静态地质模型，其中大量均属性参数，少量属定量参数
成熟阶段： 20 世纪 90 年代初至今	油砂体、流动单 元、沉积构造、 韵律、隔夹层、 孔喉网络场、渗 流场	多学科理论，沉积学、储 层地质学、地震地层学、 测井地质学、地质统计学、 油藏工程学、油田地质环 境及油田灾害学	不同层次、不同开发时期的油藏三维、四维动态模型、仿真模型，建立与油藏模型配套优化的开采方式，改善开发效果和um提高采收率。油田环境保护、灾害预防贯穿油田开发的始终，确保油田长期持续开发

一、早期发展阶段

油藏开发地质学从 20 世纪 30 年代初期开始萌芽，至 50 年代建立定性的小层油藏概念模型，经历了 20 多年的发展历史。20 世纪 30 年代以前，油藏被发现之后，油藏开发只是很盲目地进行，即所谓“掠夺式开采”油气的发展阶段。如美国 30 年代初被发现并投入开采的东得克萨斯大油田是最为典型的例子，因对油藏模型认识不清及井网井距、层系组合等开采措施不匹配，开采时油井出现明显的井间干扰，过早出现见水现象，油田产量递减很快等问题。这时石油工程师们采用限制井距和单井产量的办法来保护油田开发的持续生产和发展，20 世纪 30—40 年代油田开发进入了“保守开采”阶段。那时，美国德州铁道委员会提出的限制井距和单井配产的法规代表了这一历史时期石油开采的主导战略思想，该

阶段主要利用天然能量开发油田。油田开发促进了油层物理、渗流力学以及油藏工程等学科理论和方法的发展,但油藏开发地质的核心——地质模型在这时仍处于“笼而统之、大平均”的油藏地质概念模型的认识水平,仅用一张构造图、一张等厚图及几个储层平均参数,就能完全满足油藏开发的需要。

20世纪40年代,因用污水回注油层,带来油田开发地质学的诞生和历史性革命;注水开发在20世纪50年代得到快速发展和普及,成为广泛工业性应用的主导油田开发方式。注水开发不仅是一次历史性油藏开发方式的变革,同时还是油藏开发地质学诞生、发展的主要契机和动力。

油藏在注水开发中首先遇到的难题是储层连续性和连通性问题,不分单层的储层等时对比,不能揭示储层的连续性和连通性,这正是在早期从事油藏开发地质学的工作者把油层的小层(单层)对比作为关键和基础来研究和攻关的原因。油藏注水开发遇到的另一难题是储层的非均质性问题,储层各种尺度的非均质性极大地影响了注水开发效果。早期主要研究层间、平面等宏观规模的非均质性,要求从事开发地质学的工作者把每口井、每个储层的岩石物理属性求准,从而掌握它们各自的空间分布规律。在此过程中逐渐认识到注水开发必须进一步深入研究油藏地质,突破了“笼而统之、大平均”的传统地质工作方法,在不同开发阶段,对油藏内不同成因类型储层非均质特性认识在深度上、精度上不断深化和提高。

油藏开发地质学的早期发展阶段的主要标志,可以苏联M. 钦克于1946年出版的《油矿地质学》和美国L. W. 里诺于1949年出版的《地下地质学》为标志。后者多是录取和建立钻孔地质剖面的方法;前者具创立开发地质学的代表性,这与苏联比较广泛地采用注水开发有关。从1975年M. N. 马克西莫夫编写的《油田开发地质基础》来看,苏联开发地质学已较成熟,而美国正式出版的《石油开发地质学》在1979年才由塔尔萨大学的P. A. 迪基完成。

二、快速发展阶段

20世纪60—80年代,油藏开发地质学的主要特点是建立了油砂体的概念,提出在注水开发过程中油砂体是控制油水运动的基本单元,建立了以油砂体为核心的储层地质学研究理论和方法,将沉积学理论方法广泛引入储层地质学研究中,建立了储层微环境概念,广泛开展储层微观研究,建立了各类油藏多参数的静态模型,主要为定性模型。这些油藏模型的建立指导了油田开发,改善了早期油田开发效果。

20世纪60年代初大庆油田实施了早期保持压力的内部注水开发方式,在学习苏联和我国玉门等老油田开发经验的基础上,开发初期就极为重视油藏开发地质学工作,将石油地质人员明确分为“区域地质”(从事盆地的区域勘探生产和科研工作)和“油田地质”(从事油田开发中的油田地质学方面的生产和科研工作)两部分,建立了陆相碎屑岩储层的小层对比技术,测井定量解释分层求取孔隙度、饱和度、渗透率技术,提出了油砂体的概念,提出油藏注水开发中控制油水运动的基本单元是油砂体,建立了一套以油砂体为核心的储层地质学研究理论和方法。这是确保大庆油田实施分层开采,实现长期高产稳产的基础,而且上述理论、方法和技术在指导油田开发中至今仍发挥着重要作用。

20世纪70年代,随着油田注水开发的深入,储层非均质性对油气采收率的影响越来越清楚。国际油价上涨,使得三次采油技术备受重视。在美国,各种先导试验纷纷出现,工业性应用也具有一定规模,促使开发地质学工作向更深层次更快速的发展。最具代表性的

是1964年形成油砂体理论以后,提出深化“微观沉积学”的研究,将为油气勘探服务的沉积学理论和方法广泛引入油田储层的研究中,研究油砂体的沉积成因、分布规律和储层性质。

20世纪80年代,随着油田开发的逐步深化和计算机技术的快速发展,建立了以计算机技术为平台,以建立地层、构造、储层、流体及油藏综合模型五个模型为核心的油藏建模方法和技术,促进了油藏开发地质学的快速发展。

三、成熟阶段

20世纪90年代开始至今,油藏开发地质学的主要特点是综合应用多学科的理论、方法,对油藏开展多层次、多方位,动静结合,一维、二维、三维和四维结合的研究、表征和预测,建立包括油藏静态模型、动态模型、仿真模型等各类油藏模型,指导不同含水期各类油藏可动剩余油预测。

20世纪80年代后期,世界石油工业展现了新的形势,现代高新科技的飞速崛起,推动了油藏开发地质学向更高和更深层次的深化和发展,成为成熟的油藏开发地质学分支学科。首先是全球石油资源配置的新形势,世界主要产油国都面临新的油气勘探领域的地质条件越来越复杂,已开发的含油气盆地和油气田普遍都进入了勘探开发高成熟期,油气勘探工作必须转向自然地理条件差、油藏地下特征复杂的边远地区,勘探难度很大,风险高,勘探成本大幅度上升。其次是老油田依靠二次采油,平均采收率仅35%左右,提高老油田的采收率大有潜力可挖。因注水开发时储层各种非均质性的分割,尚有相当多的可动油未被采出,若能深化油藏动态地质模型中储层各类参数的非均质性动态演化及优化采油方法,这些剩余的可动油是完全可以开采出来的。水平井技术的出现,给改善二次采油效果提供了重要手段。采用钻加密井、水平井、多底井、侧钻等措施和建立优化配套的开采方法技术,必然能实现提高老油田采收率。

在此新形势下,需要建立更精确的油藏动态模型、仿真模型,揭示剩余油形成机理和分布规律,油藏开发地质向动静结合、更小尺度和三维、四维描述方向发展。计算机技术的飞速发展,数学与地质结合,分形、混沌学等非线性数学新理论和方法的出现,给定量描述油气地质动态模型提供了新方法。三维地震的发展,给运用地震技术解决井间的储层预测难题提供了手段。油藏开发地质学由宏观向微观、定性向定量、静态向动态及仿真、自一维向二维、三维及四维方向快速推进,由单一的地质学科向地球物理、油藏工程、采油工程等多学科理论、方法、技术的方向发展。

第三节 油藏开发地质学主要研究内容和特点

现代油田开发以实现油藏经营为标志,充分利用多学科的理论方法、技术以及人力、物力和财力资源,用最小投资和操作费用,优化油藏开发方法,获得最大的利润、经济效益和社会效益。为实现这一目标,油藏开发地质研究主要包括以下几个方面。

油藏描述:研究、描述油藏参数及非均质性特征分布和动态演化,建立油藏静态、动态模型。

油藏驱替机理:物理模拟和数学模拟相结合,揭示油藏驱替机理。

油藏模拟:进行油藏数值模拟,优化油田开采方式和增产措施。

油藏动态预测:研究、预测不同增产措施、不同开发阶段油藏宏观、微观、三维、四维参数的动态演化及对可动剩余油形成和分布的控制作用。

只有建好油藏模型，才能正确地预测油田生产动态，优化开发方法，做出正确的开发战略决策。油田生产动态的预测是通过油藏模拟和油藏工程方法来实现的。在油藏开发地质研究过程中，经常是对很少一部分油藏体积进行研究描述之后，揭示巨大的整个油藏形成机理、分布规律，建立油藏静态模型、动态模型，预测不同含水期可动剩余油分布。但准确地实现油藏众多地质参数、地质特征的研究描述、预测，难度很大。

一、油藏开发地质学的主要研究内容

油藏开发地质学的研究领域可概括为两个方面：一是区分开发阶段所要研究和揭示的油藏地质问题与勘探阶段是不相同的。研究油藏开发地质特征，即是要研究油藏具有的哪些地质特征将会控制和影响油气开发的全过程。二是要区别在不同油藏开发阶段，或者采取不同开发措施，所要研究揭示的油藏开发地质特征也不相同，研究的侧重点不同，研究描述的尺度不同等。

依据世界石油开发现状和我国注水开发科研、生产的实践，将现今开发地质学的主要研究内容概括为三大体系，即油气开发地质学的理论体系，油气开发地质学的油藏模型体系，油藏开发的环境、灾害和油藏保护体系。

油藏开发地质学的理论体系研究包括以贯穿开发地质学四大议题“构造、储层、流体及开发过程的动态演化”而形成的理论体系，即构造地质学理论、沉积学理论、渗流力学理论、储层流体动力学理论和陆相剩余油富集理论。这一理论体系将在油藏开发地质学理论方法中进一步阐述。

油藏模型体系包括建立复杂油藏静态、动态和仿真及剩余油预测模型的原理和方法。油藏开发地质模型概括为以下几个方面：

- (1) 油藏构造格架模型：阐明油藏构造的几何形态、空间分布、动力学机制，断层封闭、开启性特征及模式，裂缝类型发育程度和空间分布及对油藏开发的影响。
- (2) 储层模型：论述储层的岩性、岩石结构、几何形态、连续性，研究储层的储油能力和渗流能力的空间变化及对油田开发的影响。
- (3) 储层的非均质性模型：论述层间非均质性、平面非均质性、层内非均质性、微观非均质模型、动态演化模型及与油田开发的关系。
- (4) 隔夹层模型：阐述隔夹层岩性、厚度及空间分布、形成机制及与剩余油的关系。
- (5) 流体模型：论述流体性质及分布规律，油、气、水物理化学性质及在油田内的变化，储层内油、气、水的分布及相互关系。
- (6) 油气藏的温度场模型：阐明油藏内温度场特征、分布及对油藏开发的影响和控制作用。
- (7) 油藏压力场模型：论述油藏内水体大小，天然驱动方式、能量及对油藏开发的影响和控制作用。
- (8) 油藏流场模型：阐述流场中的物理化学场、生物化学场、骨架场、应力场、孔喉网络场、流体场特征、分布、形成机制及对剩余油形成与分布的控制作用。
- (9) 油田开发地质环境地质灾害模型：揭示油田开发地质环境地质灾害的类型、特征、形成机理、分布规律、控制因素，建立油田开发地质灾害预警和防治系统。油藏开发环境及减灾体系包括改善和优化油田开发环境，减少油田开发灾害，预测预警油田开发地质灾害研究的理论和方法，建立典型油藏开发地质灾害的形成机理、分布规律、控制因素及减灾、防灾、治灾的方法。

油藏进入开发阶段后, 油气储层已成为研究的核心内容。在国外文献中, 油藏和储层都是“Reservoir”这一通用术语, 因为到了油藏开发阶段后所要研究的构造是油藏储层的构造, 流体特征分布也是油气储层内的油、气、水等流体特征和分布, 而油气储层自身的非均质性更是油藏研究描述表征和预测的重要内容。为了适应我国石油行业的习惯, 把“Reservoir Description”译为“油藏描述”, 而“储层描述”则是指狭义的储层自身特征分布、形成机制的研究, 不包含构造和流体两大部分的内容。

油藏开发地质学的核心地质论题是不同层次、不同程度、不同开发时期的非均质性。任何地质体都是在各自的地质历史时期中, 在一定的时间和空间, 经历多种方式的动力地质作用而形成的, 都应从宏观到微观, 从不同层次来观察、了解、描述它们特征、分布和形成机制。油藏开发地质研究必须从宏观到微观、一维到四维、静态到动态, 不同层次来研究描述、表征和预测油藏的地质特征、形成机制及控制因素。

储层非均质的类型和层次的讨论较多。可分为巨观、宏观、中观及微观等四种类型; 还可分为油田规模、层系规模、砂体规模、单层规模和孔隙规模五种类型; 突出井间预测是非均质性研究的难点, 在油田规模内可称为“井间规模”等类型; 还可将直接与开发措施相关的称为层间非均质性、平面非均质性、层内非均质性和孔隙非均质性等四种类型。上述储层非均质性可随生产科研工作需要, 分层次、动静结合地研究、描述、表征和预测。

油藏开发地质特征的具体内容是在不断地深化和发展的, 油藏开发地质模型特征也会不断地被发现和认识。随着油田开发的深入和开发科学技术的发展, 必将会有目前尚未认识的影响油藏开发特征的新的地质因素或地质参数被不断认识和揭示。因此, 需要油藏开发地质家与油藏工程师密切合作, 不断地进行研究。譬如引起储层伤害的地质因素是否仅是已被人们认识的几类粘土矿物, 是否还有新的伤害源目前还未被认识。又如油藏在注水过程中储层内产生的溶解作用和结垢作用同样也是新的储层伤害源问题。在室内开展水驱油物理模型实验中, 早已发现油藏储层中的纹层规模的储层非均质性的对水驱油效率有很大影响和控制作用, 但在实际油田开发中尚未被石油科技工作者们真正运用; 而作为油藏开发的技术储备, 储层沉积工作者的野外相似露头研究工作从勘探到开发, 尚未停止过。国内外石油开发历史早已证明, 新的油藏开发地质特征被石油科技工作者认识和揭示之日, 是石油采收率进一步提高之时, 故深化油藏内储层非均质性的研究, 有重要理论意义和实用价值。

二、油藏开发地质学的特点

油藏开发地质学的主要特点概括起来有三个方面: 其一是对于深埋地下的油藏, 可直接表征地质特征的资料和信息较少, 主要用间接资料、信息对油气藏进行研究和描述, 建立油藏地质模型的难度很大。其二必须采用多学科的理论、方法、技术、信息, 才能正确地揭示、表征各类油藏动态演化。其三油藏地质模型, 不仅是一维、二维的, 而必须建立三维、四维油藏动态模型。

(1) 油藏深埋地下, 直接资料、信息较少, 建好油藏地质模型难度大。

油藏开发地质学所要研究、描述和预测的油气藏, 绝大多数都是深埋地下数百米乃至几千米, 不可能进入油藏内直接去观察研究和描述油藏特征和油藏各种地质参数, 只能通过极有限的钻井所取得的极少量直接资料和大量的间接资料信息来研究和认识油藏地质特征和非均质性。因此油藏开发地质工作这一特点表明从事油藏开发工作的难度很大。必须充分应用每口钻井的地质资料信息和岩心资料, 正确地理解油藏描述的内涵, 掌握油藏开