



中国石油大学(北京)学术专著系列

现代油藏地质学

理论与技术篇

熊琦华 王志章 吴胜和 等 著
徐樟有 侯加根



科学出版社

www.sciencep.com

中国石油大学(北京)学术专著系列

现代油藏地质学

理论与技术篇

熊琦华 王志章 吴胜和 徐樟有 侯加根 等 著

· 科学出版社 ·

北 京

内 容 简 介

本书是中国石油大学(北京)二十余年来在油气藏地质研究方面研究成果的总结与升华,是结合中国典型油气藏特征对油藏地质学理论的丰富与发展。全书集基础理论、技术方法与应用实践于一体,阐述了油藏“格架”的复杂性及复合性,“储层”形成的层次性、结构性与非均质性,油藏内“流体”分布的差异性,“油藏”类型特征及模式,开发过程中储层与流体性质的“动态”变化,“剩余油”的形成机理与模式。系统总结了在发现油气藏、认识油气藏、开发油气藏、管理油气藏过程中所采用的系列新技术、新方法。

本书对广大油气勘探与开发工作者有很大的参考作用和实用价值,对石油大专院校师生也是一部很好的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代油藏地质学:理论与技术篇/熊琦华等著. —北京:科学出版社,2010
(中国石油大学(北京)学术专著系列)

ISBN 978-7-03-028893-6

I. ①现… II. ①熊… III. ①油田开发-石油天然气地质 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 173895 号

责任编辑:杨 震 黄 海 / 责任校对:张凤琴
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencecp.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

*

2010 年 9 月第 一 版 开本: B5(720×1000)
2010 年 9 月第一次印刷 印张: 37 3/4 插页: 12
印数: 1—4 200 字数: 800 000

定价: 138.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

丛 书 序

大学是以追求和传播真理为目的,并为社会文明进步和人类素质提高产生重要影响力和推动力的教育机构和学术组织。1953年,为适应国民经济和石油工业发展需求,北京石油学院在清华大学石油系并吸收北京大学、天津大学等院校力量的基础上创立,成为新中国第一所石油高等院校。1960年成为全国重点大学。历经1969年迁校山东改称华东石油学院,1981年又在北京办学,数次搬迁,几易其名。在半个多世纪的历史征程中,几代石大人秉承追求真理、实事求是的科学精神,在曲折中奋进,在奋进中实现了一次次跨越。目前,学校已成为石油特色鲜明,以工为主,多学科协调发展的“211工程”建设的全国重点大学。2006年12月,学校进入“国家优势学科创新平台”高校行列。

学校在发展历程中,有着深厚的学术记忆。学术记忆是一种历史的责任,也是人类科学技术发展的坐标。许多专家学者把智慧的涓涓细流,汇聚到人类学术发展的历史长河之中。据学校的史料记载:1953年建校之初,在专业课中有90%的课程采用前苏联等国的教材和学术研究成果。广大教师不断消化吸收国外先进技术,并深入石油厂矿进行学术探索。到1956年,编辑整理出学术研究成果和教学用书65种。1956年4月,北京石油学院第一次科学报告会成功召开,活跃了全院的学术气氛。1957~1966年,由于受到全国形势的影响,学校的学术研究在曲折中前进。然而许多教师继续深入石油生产第一线,进行技术革新和科学研究。到1964年,学院的科研物质条件逐渐改善,学术研究成果以及译著得到出版。党的十一届三中全会之后,科学研究被提到应有的中心位置,学术交流活动也日趋活跃,同时社会科学研究成果也在逐年增多。1986年起,学校设立科研基金,学术探索的氛围更加浓厚。学校始终以国家战略需求为使命,进入“十一五”之后,学校科学研究继续走“产学研相结合”的道路,尤其重视基础和应用基础研究。“十五”以来学校的科研实力和学术水平明显提高,成为石油与石化工业的应用基础理论研究和超前储备技术研究以及科技信息和学术交流的主要基地。

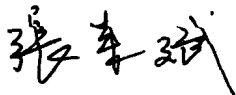
在追溯学校学术记忆的过程中,我们感受到了石大学者的学术风采。石大学者不但传道授业解惑,而且以人类进步和民族复兴为己任,做经世济时、关乎国家发展的大学问,写心存天下、裨益民生的大文章。在半个多世纪的发展历程中,石大学者历经磨难、不言放弃,发扬了石油人“实事求是、艰苦奋斗”的优良作风,创造了不凡的学术成就。

学术事业的发展有如长江大河,前浪后浪,滔滔不绝,又如薪火传承,代代相继,火焰愈盛。后人做学问,总要了解前人已经做过的工作,继承前人的成就和经验,在此基础上继续前进。为了更好地反映学校科研与学术水平,凸显石油科技特色,弘扬科学精神,积淀学术财富,学校从2007年开始,建立“中国石油大学(北京)学术专著出版基金”,专款资助教师们以科学研究成果为基础的优秀学术专著的出版,形成《中国石油大学(北京)学术专著系列》丛书。受学校资助出版的每一部专著,均经过初审评议、校外同行评议、校学术委员会评审等程序,确保所出版专著的学术水平和学术价值。学术专著的出版覆盖学校所有的研究领域。可以说,学术专著的出版为科学研究的先行者提供了积淀、总结科学发现的平台,也为科学研究的后来者提供了传承科学成果和学术思想的重要文字载体。

石大一代代优秀的专家学者,在人类学术事业发展尤其是石油石化科学技术的发展中确立了一个个坐标,并且在不断产生着引领学术前沿的新军,他们形成了一道道亮丽的风景线。“莫道桑榆晚,为霞尚满天”。我们期待着更多优秀的学术著作,在园丁们灯下伏案或电脑键盘的敲击声中诞生,展现在我们眼前的一定是石大寥廓辽远、星光灿烂的学术天地。

祝愿这套专著系列伴随新世纪的脚步,不断迈向新的高度!

中国石油大学(北京)校长



2008年3月31日

前 言

参加本书编写的作者们有幸参加了国家引进油藏描述技术的“七五”、“八五”、“九五”、“十五”科研攻关。历经二十多年的攻关实践,取得了可喜的成果,包括科研成果获国家级及省部级奖项,在油田获显著生产效益并培养了一大批相关人才,发展了与我国陆相复杂油藏相关的理论与方法、技术。1996 年受中国石油天然气总公司科技局委派,总结和出版了《陆相油藏描述》专著中、英文版,并入选第十五届世界石油大会的书展,引起了国内外同行的关注。近十年为油藏描述技术在我国推广和应用起了积极作用。同时随着实践的积累及研究水平的不断提高,理论体系不断丰富,方法技术不断完善,过去单纯的“油藏描述”技术应该向理论与方法技术相结合的相对独立的学科方向——现代油藏地质学发展。2005 年再次受中国石油天然气集团公司、中国石油化工集团公司、中国海洋石油总公司和中国中化集团公司四大公司资助出版这本《现代油藏地质学》。本专著是 20 余年来中国石油大学(北京)在油气藏地质研究方面的总结,其中浸透了油气藏地质领域全体教师和数百名历届大学、硕士和博士研究生们的心血、智慧和创造,是师生共同勇于面向一个个挑战、攻克一个个难关的集体成果和结晶。

本书由理论篇、技术篇和实例篇三大部分组成,其中,第一章至第六章为理论篇,系统总结油藏非均质理论及其动态变化的机理。第七章至第十三章为技术篇,主要阐述油气藏表征的方法与技术。因受篇幅所限,实例篇的内容不包括在本书中,将单独成册。

本书各章节编写人员如下:前言和绪论由熊琦华编写;第一章由熊琦华、吴胜和、曾联波、岳大力编写;第二章由吴胜和、熊琦华编写;第三章由张一伟、吴胜和、徐樟有编写;第四章由张一伟编写;第五章由熊琦华、张枝焕编写;第六章由熊琦华、吴胜和、侯加根编写;第七章由王志章、蔡毅、徐怀民编写;第八章第一节由陈崇河编写,第二节由王志章、蔡毅编写,第三节由吴胜和、岳大力编写,第四节由王志章、蔡毅、彭仕必编写,第五节由王志章、蔡毅、曾联波编写,第六节由吴欣松编写,第七节由王志章、蔡毅编写;第九章由王志章、蔡毅编写;第十章由徐樟有、彭仕必编写;第十一章由侯加根、王志章编写;第十二章由吴胜和、岳大力编写;第十三章由王志章、蔡毅编写。

吴胜和、徐樟有负责理论篇统稿,王志章负责技术篇统稿,熊琦华对全书进行了统编和审定。

本书的出版首先要感谢一贯关心和支持我们的中国石油天然气集团公司科技

局的历届领导,更要感谢与我们合作、给予我们攻关研究机会的各个油田的领导和同行们。

尤要感谢为中国石油教育事业贡献一生的张一伟教授。没有张一伟教授的高瞻远瞩,就没有中国石油学会油气藏开发地质学组的早日成立,更没有本专著的诞生。

同时也特别感谢王昌桂教授、薛培华教授,在百忙之中对初稿进行审核。

愿这本专著能为我国现代油藏地质学的兴起与发展做一点微薄的贡献。由于笔者水平所限,不足之处,敬请读者指正。

熊琦华

2009年10月10日

目 录

丛书序

前言

绪论	1
一、现代油藏地质学的概念	2
二、现代油藏地质学的任务及内容	2
三、油藏地质学研究进展及动向	5

理 论 篇

第一章 油藏内幕格架	13
第一节 地层的层次性	13
一、地层发育的控制因素	13
二、层序地层的层次性	15
三、油层对比单元的层次性	16
四、地层分布模式	17
第二节 油藏断层及其封闭性	19
一、断层的级次	19
二、油藏断层样式	20
三、断层封堵性	23
第三节 砂体微构造	25
一、微构造成因	26
二、微构造的分类	27
三、微构造顶底组合配置模式	28
第二章 非均质储层	30
第一节 储层构型与渗流屏障	30
一、储层的层次性与结构性	30
二、储层构型分级	31
三、储层构型分类	37
四、渗流屏障	39
第二节 储层质量差异	44

一、储层质量及相关渗流地质参数	44
二、层内储层质量差异	54
三、平面储层质量差异	58
四、层间储层质量差异	59
五、储层流动单元	61
第三节 储层岩石物理相	63
一、沉积因素对储层质量的控制	63
二、成岩因素对储层质量的控制	65
三、构造作用对储层质量的控制	68
四、岩石物理相的内涵	70
第三章 油藏流体系统	72
第一节 原始油气差异分布机理	72
一、油气在圈闭内的差异充注作用	72
二、油气在圈闭内的分异调整作用	82
第二节 油(气)水系统	85
一、油(气)水界面	85
二、油(气)水系统特征	86
第三节 油藏压力与温度系统	89
一、油气藏压力系统	89
二、油气藏温度	92
第四章 油气藏开发分类	95
第一节 按油(气)藏天然驱动能量的分类	96
一、水压驱动类型油藏	96
二、气顶驱动类型油藏	96
三、溶解气驱动类型油藏	96
四、重力驱动类型油藏	97
第二节 按油(气)藏流体性质分类	97
一、天然气藏	97
二、凝析气藏	98
三、挥发性油藏	99
四、稠油油藏	99
五、高凝油藏	102
六、常规原油油藏	102
第三节 按油(气)藏几何形态分类	104
一、块状底水油藏	104

二、层状边水油藏	105
三、透镜状油藏	106
四、小断块等特殊类型油藏	107
第四节 按油气藏储集渗流特征分类	107
一、孔隙型储层油藏	107
二、裂缝型储层油藏	109
三、双重介质型储层油藏	110
第五节 油气藏综合命名	111
第五章 储层与流体性质动态变化	113
第一节 开发过程中储层性质的动态变化	113
一、黏土矿物的水化膨胀——储层的水敏性	113
二、微粒的迁移——储层的速敏性	115
三、酸化后的沉淀——储层的酸敏性	118
四、其他作用	118
第二节 开发过程中流体性质的动态变化	120
一、原油物性的动态变化	121
二、原油组成的动态变化	123
三、油田水的地球化学变化	126
第六章 剩余油形成与分布	128
第一节 剩余油形成与分布的控制因素	128
第二节 未动用剩余油层形成机理	130
一、小型砂体——井网控制不住	130
二、层间渗透率差异——层间干扰	132
三、污染损害严重	133
四、未列入原开发方案(未射孔)	133
第三节 平面剩余油滞留机理	133
一、砂体不规则——注采系统不完善	133
二、平面储层渗透率差异	134
三、沿裂缝水窜	135
四、砂体边部水动力滞留区	136
五、封闭性断层附近的水动力滞留区	137
六、正向微构造的水动力滞留区	137
七、平面注入水失调	138
第四节 厚油层内部剩余油滞留机理	138
一、渗透率韵律	139

二、层内夹层	143
三、层理构造	151
四、黏度差和密度差	152
五、气锥和水锥	152
第五节 微观剩余油滞留机理	153
一、剩余油特征	153
二、孔隙系统中的微观驱替机理	154
三、孔隙非均质性对驱油效率的影响	157

技 术 篇

第七章 储层划分对比及构造研究	163
第一节 储层划分与对比	163
一、相控-等时储层对比	163
二、短期基准面旋回自动识别及储层对比	168
三、储层井间模拟及储层对比	171
第二节 构造精细解释方法与技术	180
一、构造解释模型的确认	181
二、构造解释的基本原则	187
三、构造精细解释	189
第三节 微构造研究及应用	196
一、微构造类型及成图方法	196
二、微构造特征分析	198
三、微构造与生产动态的关系	200
四、微构造影响油水运动的机理分析	204
五、微构造在今后剩余油挖潜工作中的应用	206
第八章 储层表征及预测	208
第一节 地震储层横向预测	208
一、地震属性提取	208
二、地震反演	218
三、地震储层预测	231
第二节 储层沉积微相研究	239
一、单井相自动识别方法	239
二、剖面相展布方法研究	244
三、平面相带自动划分方法研究	245

四、相概率研究技术	247
五、沉积微相演化过程分析	249
第三节 储层构型分析	252
一、概述	252
二、储层构型分析思路	253
三、储层构型分析方法	256
第四节 储层流动单元研究	263
一、储层流动单元概述	263
二、储层流动单元研究	271
三、储层流动单元构成及生产状况分析	276
第五节 储层裂缝识别与预测	279
一、储层裂缝的地质识别与描述	279
二、储层裂缝的测井识别与评价方法	282
三、储层裂缝的其他识别方法	298
四、储层裂缝的数值模拟方法	300
五、储层裂缝的分形预测	302
六、储层裂缝综合评价	309
第六节 碳酸盐岩古岩溶储层地震预测	310
一、研究区地质概况	310
二、主要研究内容及技术思路	313
三、采用的关键技术	313
四、古岩溶储层地震预测结果	323
第七节 开发中后期油藏参数变化规律研究	326
一、开发中后期油藏参数变化规律研究内容、技术及流程	327
二、油藏参数实验室模拟及其变化规律研究	330
三、水驱前后关键井储层参数对比分析研究	337
四、储层参数变化规律研究	348
五、井间分形预测	351
六、储层参数平面变化规律研究	352
第九章 油气水层识别及其预测	354
第一节 录井信息识别评价不同性质油气层	354
一、不同性质油气层气测录井识别评价	356
二、不同性质油气层定量荧光录井识别与评价	361
三、不同性质油气层地球化学录井识别评价技术	368
第二节 常规测井信息识别油气水层	381

一、油气层定性识别评价方法	382
二、微分分析法识别复杂油气水层	384
第三节 测试、测井新技术联合识别油气层	386
一、组件式地层重复测试(MDT)	386
二、核磁共振测井新技术	387
三、测试、测井新技术联合识别油气层	388
第四节 波形差异分析及高产气层预测	392
一、波形差异分析基本原理	392
二、含气敏感信息分析及波形差异分析	396
三、基于波形差异分析的高产层反演	401
四、高产气区预测	403
第十章 油藏动态分析	408
第一节 油藏动态监测	408
一、油藏动态监测的原则和主要内容	408
二、注入剖面与产液剖面监测	411
三、流体界面监测	413
四、试井监测	414
五、油藏井间示踪剂动态分析方法	432
第二节 油藏动态分析方法	434
一、油藏动态分析的基础资料和相关图件	434
二、油藏动态分析的内容和方式	436
三、油藏动态分析的常用方法	442
第十一章 剩余油分布预测	469
第一节 单井剩余油饱和度解释	471
一、原始含油饱和度解释方法	472
二、剩余油饱和度解释方法	476
三、水淹层评价	491
第二节 井间剩余油监测	495
一、井间测井方法	495
二、地震方法	496
第三节 开发地质方法预测剩余油分布	498
一、微构造与剩余油分布	499
二、沉积微相与剩余油分布	500
三、储层非均质与剩余油分布	504
四、储层流动单元与剩余油分布	504

五、剩余油富集区预测	506
第四节 油藏工程方法预测剩余油分布	507
一、常规油藏工程方法	507
二、试井法	510
三、流线模型法	511
第五节 分阶段数值模拟及剩余油分布预测	511
一、问题的提出	512
二、开发阶段的划分及开发特征	513
三、各向异性油藏渗流数学模型	515
四、网格系统建立	519
五、动态数据处理	520
六、历史拟合	520
七、总体指标拟合	521
八、单井指标拟合	524
九、产能及剩余油分布	524
第十二章 油藏地质建模	527
第一节 油藏地质模型	527
一、油藏地质模型及其意义	527
二、油藏地质建模的基本步骤	530
第二节 储层建模的方法技术	533
一、确定性建模	533
二、随机建模	535
第三节 储层建模的策略	546
一、确定性建模与随机建模相结合	546
二、等时建模	546
三、成因控制建模	547
四、相控建模	547
五、原型模型的“借用”	548
第十三章 数字油藏	549
第一节 数字油藏的提出	549
第二节 数字油藏发展现状与进展	550
一、国外数字油藏建设现状与进展	550
二、国内数字油藏建设现状	552
第三节 数字油藏主要内容及模式	554
一、数字油藏的主要研究内容	554

二、数字油藏的模式	554
三、数字油藏研究内容	555
第四节 数字油藏关键技术	556
一、数字油藏架构	556
二、数字油藏的关键技术	556
三、数字油藏应用描述	565
第五节 不同勘探开发阶段数字油藏的建设	566
一、勘探阶段数字油藏的建设	567
二、开发早期阶段的数字油藏建设	568
三、开发中后期阶段的数字油藏建设	569
第六节 数字油藏建设进程——以大港油田为例	570
一、开发信息化取得的成果	570
二、数字油藏具体实施内容	574
第七节 数字油藏发展趋势及未来展望	579
一、数字油藏的信息化	579
二、油藏数字化建设远景规划	580
主要参考文献	581

绪 论

现代油藏地质学的产生和发展与油藏开发实践水平及各种先进科学技术发展息息相关。随着计算机技术的迅速发展,“油藏描述”技术应运而生,它是一项优化全油田多学科相关信息来研究与定量表征、评价油气藏的新技术。20 世纪 70 年代末~80 年代,油藏描述(reservoir description service)技术的问世及发展使油藏地质研究进入一个新的里程碑。这项技术的发展和运用明显优于以高费用钻井为主要手段辅以测井单井评价的传统研究方法,成为一项有效提高勘探评价及开发水平及效益的支柱技术。我国自 1985 年引进此技术,二十余年来得到迅速普及、应用和发展,已成为储量计算前必备的基础工作及油田提高开发效益的“希望工程”。

在二十余年实践的过程中,每一次实践不仅解决了生产问题,见到了实效,同时,在理论认识上都有所提高和创新,让我们认识到必须对控制油藏不同阶段特征的成因机制进行理论研究,才能准确预测油藏的非均质特征及其变化规律,以及它们对油气采出的控制作用,以减少无效的投资及风险,为提高开发效益及采收率提供理论依据。同时,还必须依据不同类型油藏的非均质特征研究发展不同的方法及技术。

科学技术的发展是无止境的,随着世界油气藏勘探领域不断扩大,油藏类型趋于复杂,油藏开发难度和成本不断增加,开发效益不理想等难题向油气藏地质师和油藏工程师不断提出新的挑战,使得传统的油矿地质、油田开发地质以至油藏描述等以方法为主导的学科满足不了实践的需求。因而,发展理论与方法学相结合的学科迫在眉睫。

为此,我们从油藏描述的基础上再提高一步,进入现代油藏地质学的理论与实践统一的高度,编写了这本《现代油藏地质学》。本书共分三篇,即理论篇、技术篇和实例篇。

在理论篇中,我们重点论述油藏地质研究中核心理论问题,即油藏格架的复杂性及复合性;储层的层次性、结构性与非均质性;油藏内油气分布的差异性及可变性;决定储层质量的岩石物理相理论及方法;阐明油气藏内部流体与流场相互作用机理的渗流地质学;油藏驱动能量;油藏开发分类及油藏模型分类。

在技术篇中,有关油藏描述规范中及 1996 年我们出版的《陆相油藏描述》专著中所涉及的常规方法及技术将不再赘述。在这本书中主要总结近十年来在参考、借鉴国内外先进技术的基础上,我们在实践中不断创新和发展的、有针对性并取得

良好效果的方法及技术,涵盖了理论研究中的一些关键技术,如:构造精细解释及圈闭评价技术;储层精细划分对比及储层结构分析技术;相控储层表征技术;储层裂缝识别及评价技术;储层随机模拟及油藏地质建模技术;油气层识别与评价技术;剩余油评价及预测技术;油藏综合评价技术(含储量计算);数字油藏;油藏描述软件平台等。

实例篇则选择不同类型、不同开发阶段的典型油气藏为实例,简要地系统阐明其特殊性 & 研究内容、技术流程及关键技术,因受篇幅所限,这部分内容将单独成册。

一、现代油藏地质学的概念

现代油藏地质学是一门以石油地质等地质学科为基础,利用数理化多学科先进的理论与方法、技术对已证实油气藏的特征进行综合研究(study)、描述(description)、表征(characterization)与预测(forecast)的科学,是石油地质学的后续学科。它贯穿始于油藏评价、止于油藏枯竭的各个阶段,是一门油气藏静态研究与动态研究一体化相结合的地质学分支。

油藏地质学为石油地质学的一个分支,但其研究目标又与石油地质学有着鲜明的区别。石油地质学从找油的目的出发,其基本理论是油气的生成、运移、聚集、保存的条件和机理,其核心内容是油气藏形成和分布的基本规律,以便找到油气藏。油藏地质学则以评价油气藏与开采油气藏为目标。其基本理论是“格”——油藏内幕格架(地层、构造)、“储”——储层非均质系统、“流”——油藏流体系统、“藏”——油藏类型及油藏模式、“动”——储层与流体性质动态变化、“油”——剩余油形成与分布的模式及机理。其核心内容则是“格”、“储”、“流”、“藏”、“动”、“油”的形成机理与模式,表征方法与技术。

二、现代油藏地质学的任务及内容

(一) 任务

油藏地质学的任务是研究已被证实油藏各方面的地质特征、形成机理及在开发过程中对油气采出的控制作用与变化规律,并最终建立不同精度的油藏模型,为油藏数值模拟、开发方案制定、调整及提高采收率提供依据。

现代油藏地质学则是以石油地质学、构造地质学、沉积学理论为基础,广泛应用储层地质学、层序地层学、地震岩性学、测井地质学、油藏地球化学、各种现代数学方法,以数据库为支柱,运用计算机手段,由复合型研究人员对油藏各种特征及其形成机理、开发过程中油藏属性参数变化、剩余油形成机制及分布进行一体化研究,并最终给出数字化、可视化、智能化的三维或四维空间的油藏模型。