

流动单元

研究的原理和方法

李 阳 刘建民 著

地质出版社

流动单元研究的原理和方法

李 阳 刘建民 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书采用多学科理论,系统地论述了流动单元识别、分类和评价的原理、方法与技术,阐述了流动单元的形成机制、分布规律和控制因素,研究了流动单元的非均质性,从地质学、地震地质学、测井地质学、油藏工程和渗流力学等不同侧面研究揭示流动单元的本质特征,建立了济阳拗陷三角洲、扇三角洲和河流相储层流动单元模式,以及流动单元模型,揭示了剩余油形成机理和分布规律,为改善油田开发效果,提高油田最终采收率提供了可靠的地质依据。

本书可作为油气勘探开发相关专业人员的重要参考资料,也是大专院校师生及科研人员的重要参考文献。

图书在版编目(CIP)数据

流动单元研究的原理和方法 / 李阳, 刘建民著. —北京: 地质出版社, 2005.6
ISBN 7-116-04387-X

I. 流... II. ①李...②刘... III. 油藏—储集层—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 (2005) 第 059480 号

LIUDONG DANYUAN YANJIU DE YUANLI HE FANGFA

责任编辑: 蔡卫东

责任校对: 王素荣

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010)82324508 (邮购部); (010)82324571 (编辑部)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010)82310759

印 刷: 北京中科印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm $1/16$

印 张: 11

字 数: 260 千字

印 数: 1—2500 册

版 次: 2005 年 6 月北京第一版·第一次印刷

定 价: 52.00 元

ISBN 7-116-04387-X/P · 2557

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社出版处负责调换)

序

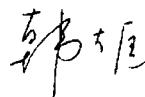
油气工业是国民经济发展的支柱产业,发展和深化油气勘探开发理论研究对于国家石油安全战略和国民经济的发展,具有重要的现实意义。

自20世纪60年代以来,我国相继发现了一大批以陆相河流、三角洲沉积砂体为储集层的油气田,历经数十年的注水开发,已进入高含水 and 特高含水期开发阶段,大部分油田综合含水率达到或超过90%,由于河流、三角洲沉积储层的强非均质性,导致其采收率较低。因此,必须更精细地研究和表征油气藏的非均质性,揭示剩余油形成机制和分布规律,才能有效地挖掘和利用这部分剩余资源。

储层流动单元研究是油藏描述的深化和发展,也是当今国内外储层研究的热点,其目的是更精细地刻画储层非均质性,指导油气勘探开发。通过流动单元研究可深化储集层的非均质性认识,建立更符合地下实际及生产动态的油藏地质模型,合理评价储层,揭示剩余油分布规律,为油田增储挖潜、提高油气采收率提供依据。

李阳、刘建民同志所著《流动单元研究的原理和方法》一书,是在科技攻关研究的基础上所形成的系统的储层流动单元研究成果。作者长期从事油田科研及生产实践工作,在油田开发地质学方面有着深厚的理论基础。该书运用多学科理论,深入系统地论述了流动单元识别、分类和评价的原理、方法与技术,阐述了流动单元的形成机制、分布规律和控制因素,揭示了流动单元非均质性,建立了济阳拗陷三角洲、扇三角洲和河流相储层的流动单元模式,以及剩余油分布模式,应用于油田开发挖潜,取得了显著效果。主要创新点,一是从储层流体渗流控制机理出发,阐明了流动单元一般是指在一定区域内以岩性或物性隔挡层为边界,内部具有相似岩石物理特征和流体渗流能力、空间上连续分布的储集体,对于内部无隔挡层的韵律性储集层视为流动单元复合体。二是充分应用沉积学理论和测井等技术,建立了系统的流动单元定性、定量识别方法和技术。

《流动单元研究的原理和方法》一书的出版,将对丰富和发展我国陆相断陷盆地石油地质理论、提高勘探开发水平作出较大的贡献。希望该书的出版能加速陆相断陷盆地油气勘探开发的深化和发展,为实现我国石油工业的可持续发展战略作出新的贡献。



2005年3月10日

前 言

近年来,流动单元研究已成为国内外油气田勘探开发中极为关注的重要领域之一,不仅国内外每年的学术期刊和学术会议均有大量的报道,而且在高含水开发油田提高采收率研究中得到普遍应用。

胜利油田自“八五”以来广泛开展了精细油藏描述,为改善油田开发效果、增储上产奠定了坚实的基础。“九五”以来,为提高采收率,在多个处于高含水及特高含水开发期油田进行了流动单元研究与应用,取得了显著效果和效益。作者在深入研究的基础上编写了本书。本书系统地论述了流动单元识别的原理和方法,流动单元研究和表征方法与技术,流动单元分类及评价方法和技术,流动单元对剩余油的控制作用,从而使读者对流动单元的特征、形成机制与分布规律、流动单元研究的理论方法和技术等有全面的认识和深入的理解。

全书共分八章,第一章介绍了流动单元的概念、研究意义及研究现状,流动单元主要研究内容、流动单元研究的方法技术;第二章阐述了流动单元识别的原理和方法,流动单元识别标志、分类原则,还论述了流动单元单井识别、井间识别和多井识别的原理和方法;第三章论述了流动单元形成机制、分布规律和控制因素;第四章阐述了流动单元非均质性的概念、特征和研究方法;第五章阐述了三角洲储层流动单元的特征、分布规律、控制因素和流动单元模式;第六章阐述了河流相储层流动单元的特征、分布规律、控制因素和流动单元模式;第七章论述了扇三角洲储层流动单元的特征、分布规律、控制因素和流动单元模式;第八章论述了流动单元动态模型。第一章、第二章、第四章、第五章、第七章由李阳编写;第三章、第六章、第八章由刘建民编写。

希望该书能对油田开发地质、油藏工程及剩余油研究领域起到抛砖引玉的作用,以推动我国石油工业的快速发展。该书在编写过程中得到韩大匡院士悉心指导,并提出了修改意见,胜利油田地质科学研究院、胜利采油厂、孤岛采油厂、东辛采油厂等有关专家提供了大量的基础资料,在此一并表示衷心感谢。

书中不当之处,欢迎专家同行批评指正。

著 者

2005年3月

目 录

序

前 言

第一章 绪 论	1
一、流动单元概念	1
二、流动单元研究的意义	2
三、流动单元的主要研究内容	3
四、流动单元研究的方法和技术	4
五、流动单元研究现状与展望	4
第二章 流动单元识别与划分的原理和方法	7
第一节 流动单元识别标志	7
一、流动单元的主要特征	7
二、流动单元的识别标志	8
第二节 流动单元分类原则和分类体系	11
一、流动单元分类原则	11
二、流动单元分类体系综述	12
三、胜利油田主要流动单元类型	13
第三节 单井流动单元识别与划分的原理和方法	19
一、单井流动单元地质识别方法	19
二、单井流动单元测井识别与划分	21
第四节 井间流动单元剖面识别与划分的原理和方法	25
一、井间流动单元剖面识别与划分原则	26
二、井间流动单元剖面识别与划分流程	27
三、井间流动单元剖面识别与划分的地球物理方法	27
四、井间流动单元剖面识别与划分的标准层和标准剖面	29
第五节 平面流动单元识别与划分的原理和方法	31
一、地震识别与划分方法	31
二、数理统计法	33
三、随机建模法	43
第三章 流动单元形成机制和分布规律	45
第一节 流动单元形成机制	45
一、流动单元隔挡层	45
二、河流相储集层流动单元形成机制	48

三、三角洲相储集层流动单元形成机制	50
四、扇三角洲和近岸水下扇相储集层流动单元形成机制	51
第二节 流动单元的主要控制因素	52
一、河流相储集层流动单元的主要控制因素	53
二、三角洲相储集层流动单元的主要控制因素	54
三、扇三角洲相储集层流动单元的主要控制因素	55
第三节 流动单元分布规律	56
一、流动单元垂向分布规律	56
二、流动单元平面分布规律	58
第四章 流动单元非均质性研究	60
第一节 流动单元非均质性概念	60
第二节 流动单元非均质性研究方法	62
一、宏观非均质性研究方法	63
二、微观非均质性研究方法	68
第三节 流动单元非均质性综合评价	72
一、流动单元非均质性评价标准	72
二、流动单元非均质性评价方法	72
第五章 三角洲相储集层流动单元模式	86
第一节 三角洲相储集层的沉积模式	86
一、三角洲平原分流河道	86
二、三角洲前缘	88
三、各主要沉积时间单元三角洲各亚相的纵横向展布	92
第二节 三角洲相储集层流动单元主要特征	93
一、流动单元 E	94
二、流动单元 G	96
三、流动单元 M	97
四、流动单元 P	98
第三节 三角洲相储集层流动单元模式	98
一、三角洲相储集层流动单元垂向分布模式	99
二、三角洲相储集层流动单元平面分布模式	100
三、各类流动单元的分布模式	100
四、三角洲相储集层流动单元的概念模型	102
第六章 河流相储集层流动单元模式	103
第一节 河流相储集层沉积模式	103
一、河流相储集层沉积特征	103
二、河流相储集层特征	105
三、胜利油区河流相储集层特征	108
第二节 河流相储集层流动单元的主要特征	112
一、流动单元 E	112

二、流动单元 G	114
三、流动单元 M	116
四、流动单元 P	117
第三节 河流相储集层流动单元模式	118
一、河流相储集层流动单元垂向分布模式	118
二、河流相储集层流动单元平面分布模式	119
三、河流相储集层各类流动单元分布模式	120
第七章 扇三角洲相储集层流动单元模式	122
第一节 扇三角洲相储集层沉积模式	122
一、扇三角洲平原	123
二、扇三角洲前缘	124
三、前扇三角洲	125
四、扇三角洲展布规律	125
第二节 扇三角洲相储集层流动单元的主要特征	125
一、流动单元 E	126
二、流动单元 G	128
三、流动单元 M	129
四、流动单元 P	130
第三节 扇三角洲相储集层流动单元模式	130
一、扇三角洲相储集层流动单元垂向分布模式	130
二、扇三角洲相储集层流动单元平面分布模式	132
三、扇三角洲相储集层各类流动单元分布模式	133
第八章 流动单元动态模型与剩余油分布	134
第一节 流动单元动态模型的建模方法	134
一、流动单元动态模型的提出	134
二、流动单元动态模型建模方法	135
第二节 流动单元动态模型	150
一、三角洲相储集层流动单元动态模型	151
二、河流相储集层流动单元动态模型	152
三、扇三角洲相储集层流动单元动态模型	152
第三节 剩余油分布形态及控制因素	153
一、剩余油分布形态	153
二、剩余油形成机制	155
三、剩余油分布控制因素	156
第四节 流动单元与剩余油分布	159
一、河流相储集层流动单元与剩余油分布	159
二、三角洲相储集层流动单元与剩余油分布	163
参考文献	166

第一章 绪 论

勘探开发实践表明,油气田勘探开发是否有效和成功,关键是对油气藏认识是否符合地下地质规律。要提高勘探成功率和开发水平,要求石油科技工作者认识更多能揭示油气田几何形态和空间分布的各种参数,建立表征油气田地质规律和油气藏储集层非均质性的地质模型,指导油气田的勘探与开发,才能提高油气田勘探成功率和采收率。国内外大量生产实践和研究表明,二次采油最终采收率约为35%,仍有相当数量可采油气因受地下储集层非均质性影响未被注入水波及,深化油藏非均质性认识、优化采油技术能将这些油气采出来。我国东部非均质性较强的陆相储集层,如胜利油区的河流、三角洲相储集层,储量占油区总储量的2/3。油砂体平面连通性差,纵向油层多,储集层非均质性严重,经长期注水开采目前已进入高含水及特高含水开采阶段,产油量逐渐递减。提高老油田采收率,是实现油田增储上产的有效途径。揭示地下储集层中剩余油形成机制和分布规律是基础,储集层流动单元研究正是解决这一学科前沿难题而发展起来的新的油气田地质理论和表征方法。

流动单元(flow unit)研究是在20世纪80年代中后期兴起的一种油气田地质研究新理论和表征方法,国内自20世纪90年代开始对流动单元进行探索研究,并得到快速发展,目前受到石油公司及石油勘探、开发人员的极大重视。流动单元研究成果已在油田开发生产中广泛应用,获得显著经济效益和社会效益。实践证明,深化和发展流动单元研究的理论和方法具有重要的理论和实际意义。

自“八五”以来,胜利油区对已开发油田广泛开展了精细油藏描述,为胜利油区深化和发展流动单元研究、改善开发效果、增储上产奠定了坚实的基础。“九五”以来,在多个油田进行了流动单元研究。本书是在总结以往研究成果的基础上,对流动单元进行了更加系统的深化研究和发展,系统深入地论述了流动单元研究的原理、方法和技术,流动单元的形成机制与分布规律,河流、三角洲和扇三角洲三种成因类型储集层流动单元的静态和动态模型,流动单元与剩余油分布的关系。

一、流动单元概念

自1984年C.L.Hearn提出流动单元概念以来,许多学者用这一概念开展油气藏地质表征研究。不同学者对此概念有不同理解。Hearn最早提出流动单元概念为:垂向及侧向上连续,具相似渗透率、孔隙度及层面特征的储集带。后W.J.Ebanks(1987)提出:流动单元是垂向及侧向上连续,影响流体流动的岩石地质、物理性质相似的储集岩体。J.O.Amaefule等(1993)提出:流动单元是给定岩石中水力特征相似的层段。裘怿楠(1996)认为流动单元是因储集层非均质性的阻挡及窜流旁通条件,使注入水沿地质结构引起的一定途径驱油,并自然形成的流体流动通道。穆龙新(2000)认为流动单元是一个油砂体及

内部受边界限制、不连续的薄隔挡层、各种沉积微界面、小断层及渗透率差异等因素造成渗透特征相同，水淹特征一致的储集单元。焦养泉（1998）认为流动单元是指沉积体系内部按地下水动力条件进一步划分的建筑块体。

通过长期的科研和生产实践，笔者认为流动单元一般是指，在一定区域内以岩性或物性隔挡层为边界，内部具有相似岩石物理特征和流体渗流能力、空间上连续分布的储集体，对于内部无隔挡层的韵律性储集层视为流动单元复合体。故流动单元是一种特殊的储集体单元，其特殊性一是流动单元的岩石物理特征及渗流能力均相似；二是流动单元可为同一时间单元或沉积单元，也可为不同时间单元或沉积单元联合、复合而成；同一时间单元或沉积单元也可划分为不同的流动单元。这里的物性隔挡层一般指储集层内部物性发生较大变化或产生较大差异时，物性较差的部位或层段，其相邻两侧储集体岩石物理及渗流特征存在明显差异。物性隔挡层广泛存在，特别是在储集性能较好的储集层中，往往可成为区分流动单元的主要标志。

同一流动单元由于具有相似的岩石物理特征和流体渗流能力，致使其水淹及剩余油分布特征一般具有相似性。流动单元这一概念的建立给复杂储集层精细描述与预测、动静油藏表征、精细流动单元地质模型建立奠定了坚实基础。

本书的目的是将流动单元研究与剩余油形成机制和分布规律研究相结合，从而揭示长期注水开发油藏非均质特征，揭示剩余油分布，为改善油田开发效果，提高油气的最终采收率提供可靠的地质依据。

二、流动单元研究的意义

流动单元是油藏描述和表征的最基本单元。流动单元研究是深化和发展油藏表征的关键，为揭示陆相断陷湖盆复杂储集层的非均质性提供更加有效的理论、方法和技术（图1-1）。因此，深化流动单元研究，揭示剩余油的分布规律，深化和发展陆相断陷湖盆开发地质学理论和方法，有重要的理论意义和实用价值。

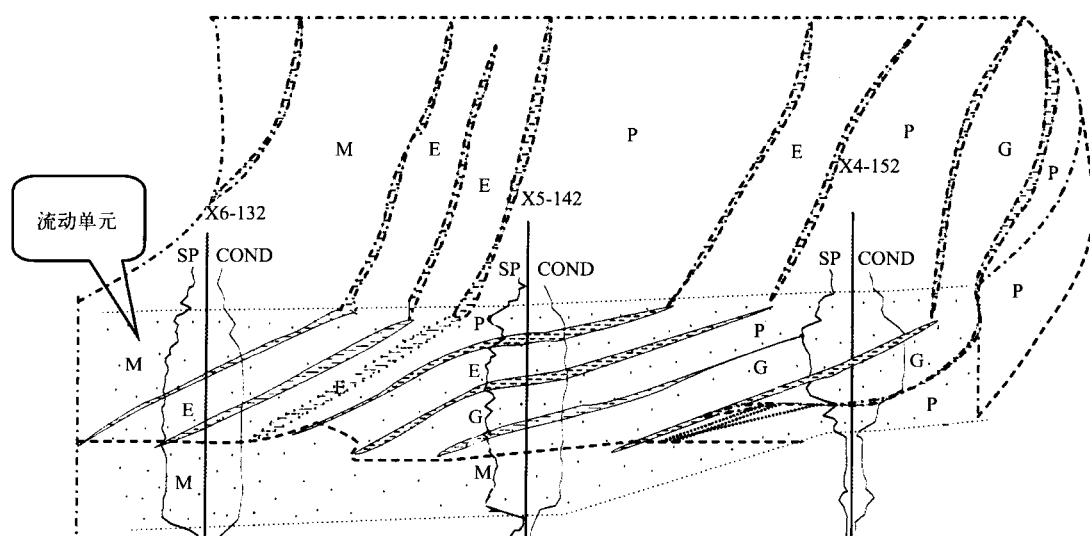


图 1-1 曲流河沉积流动单元模式

1. 合理评价储集层, 预测储集层分布

流动单元是多种地质作用综合所形成的储集体成因单元, 是沉积作用、成岩作用和后期改造作用等的综合产物。流动单元的研究与划分, 可合理评价储集层, 进而预测储集层分布和剩余油气的分布规律。

流体流动性好的流动单元, 常为油气储集层; 流体流动性较差的流动单元, 多数情况下起阻挡流体垂向或侧向流动的作用; 流体不能流动的泥岩或其他致密岩层, 可作为流体单元的隔挡层。

2. 深化储集层非均质性认识

流动单元反映特定沉积条件下的地质特征, 是储集层非均质性的综合反映。利用流动单元可对储集层非均质性定量描述、刻画和表征, 能充分揭示陆相储集层非均质性及流体渗流特征, 是精细描述油藏非均质性切实可行的方法。流动单元研究可深化储集层非均质性认识, 搞清剩余油分布规律, 为提高油田采收率服务。

3. 提高油藏数值模拟的精度

流动单元不仅具有相似的沉积特征, 还具有相似的渗流特征。流动单元研究可建立和确定符合地下客观实际和生产动态的油藏特征参数和油藏地质模型, 提高油藏数值模拟的精度。

4. 确定剩余油分布和调整挖潜对象

储集层的非均质性是剩余油形成与分布的主导原因, 通过对流动单元的研究可认识储集层的非均质性, 揭示剩余油分布规律。

不同层段的水洗状况受其中流体流动特性的影响, 平面上受沉积相带和岩性变化的影响, 水洗程度差异与流动单元的渗流特性仍有很好的 consistency。通常情况下, 流体流动特性好的层段为中—强水洗; 流体流动特性中等的层段为弱—中水洗; 流体流动特性差的层段多为未水洗层段。故流动单元研究, 可提高水淹层解释精度, 揭示剩余油的分布规律, 进而确定加密调整及挖潜目标和方向, 提高油气的最终采收率。

三、流动单元的主要研究内容

通过大量油田生产及科研实践, 笔者认为流动单元研究应以石油地质学、沉积岩石学、层序地层学、油层物理以及渗流力学等学科的理论为指导, 综合应用油田静态和动态资料, 以流动单元这一特殊储集体的非均质性特征和渗流特征为主线, 对地下油气藏进行综合研究和评价。综合应用地质、地震、测井和油藏工程等资料, 研究流动单元的几何形态、非均质性特征、渗流特征等, 建立流动单元模型, 研究油田开发过程中不同流动单元的动态特征及剩余油分布规律, 从而为油田二次采油和三次采油提供坚实的地质基础。

不同地质背景的油气藏在不同开发阶段存在问题不同, 流动单元研究内容有所区别, 但非均质性研究是流动单元研究永恒的主题。笔者认为流动单元研究应包括高分辨率层序地层分析、井间地震、核磁测井、成像测井、常规测井、储集体沉积相和沉积微相研究、流动单元识别和对比; 成岩作用及孔隙结构分析、流体性质分析, 储集层属性参数分布规律研究, 流动单元渗流特征参数研究, 非均质性研究, 流动单元综合评价和流动单元模式、油藏开发动态、流动单元中剩余油的形成机制和分布规律等。研究流程见图 1-2。

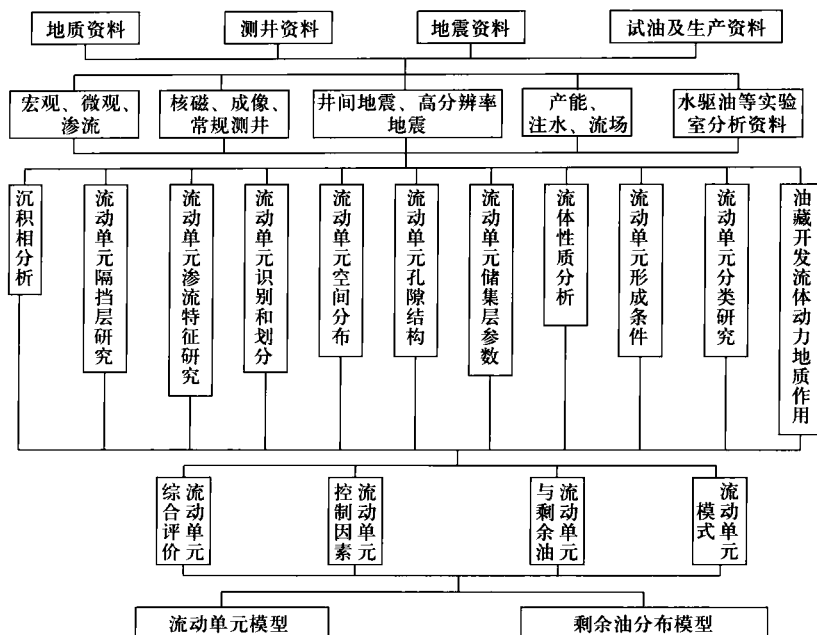


图 1-2 储集层流动单元研究流程

四、流动单元研究的方法和技术

流动单元研究实质是对长期注水开发油气藏进行深入细致的综合研究和表征。大量的科研和生产实践表明，特别是对那些复杂和长时期注水开发的油气藏，要正确揭示地下油气藏内流动单元的几何形态、空间分布规律，必须采用多学科的理论为指导，应用多种手段，多种信息，才能做好流动单元的识别、分类和评价，才能建立符合地质规律的流动单元模型。流动单元研究的方法和技术概括为流动单元识别、划分、评价，流动单元非均质性特征、渗流特征研究，流动单元形成机制、分布规律和控制因素研究，流动单元与剩余油形成、分布等研究的方法和技术。上述众多的方法和技术应用各自的理论、信息和手段，从地质学、地震地质学、测井地质学、油藏工程和渗流力学等不同侧面来研究揭示流动单元，建立流动单元地质模型、地震模型、测井模型、油藏参数模型和渗流模型，从而正确揭示流动单元的地质规律和开发动态规律，深化油气藏的认识，为油田的二次采油和三次采油提高采收率奠定坚实基础。

五、流动单元研究现状与展望

1. 国外流动单元研究现状

流动单元研究是20世纪80年代中后期兴起的一种储集层研究方法。1984年C.L.Hearn等在研究美国怀俄明州Hartzog Draw油田的Shannon砂岩储集层时，将其划分为中心坝相、坝缘相Ⅰ、坝缘相Ⅱ、坝间相和生物扰动粉砂岩相，认为因沉积作用和成岩作用的影响，使每个相带间的岩石物性变化很大，从而对油田生产动态的控制作用有较大差别，提出了流动单元（flow unit）概念，把Shannon砂岩划分为5个流动单元，将流动单元定义为横向和侧向连续的储集层，其内各部位岩性相似，岩石物理性质相似。流动单元概念的提出

为砂岩储集层进一步细分提供了量化的定义,同时也为油藏数值模拟和剩余油分布研究提供了可靠的基础。

自Hearn等提出储集层流动单元的概念后,很多学者用这一概念开展储集层表征研究,对流动单元的概念和划分方法不断深化和完善。W.J.Ebanks (1987) 对流动单元进一步阐述,认为流动单元是垂向和侧向上连续的影响流体流动的地质和物理性质相似的储集岩体,目前,有关流动单元的研究大都沿用这一概念。J.D.Amaefule (1993) 认为流动单元是给定岩石中水力特征相似的层段。

在流动单元的概念不断完善的同时,流动单元的划分方法也在不断深化和完善。C.L.Hearn等最早是在渗透率和孔隙度的半对数坐标中利用交会图确定流动单元。A.Rodriguez (1988) 等认为流动单元的划分有两种方法:一种是用区域上稳定发育的泥岩进行划分;一种是用相带或相带组合来划分,并提出用相带及组合划分流动单元的7个步骤。Guangming Ti (1995) 等在研究阿拉斯加北斜坡 Endicott 油田的流动单元时,在地层对比和分层及沉积相研究基础上从岩心资料和测井资料出发,选取产能系数 (kh)、容积系数 (ϕh) 和净毛厚度比 3 个参数采用聚类分析法来划分流动单元。Amaefule 等认为岩心资料提供了影响孔隙几何形状的各种沉积和成岩因素。因此可以用孔隙几何形状特征的变化来划分流动单元并利用修改的 Kozeny-Carman 方程,推导出划分流动单元的流动层段指标 I_{FZ} 。归纳起来,流动单元的研究方法主要有以下几类:①根据岩相及宏观岩石物理参数进行流动单元研究;②应用孔隙几何学特征进行流动单元研究;③应用存储系数等参数进行流动单元研究;④应用生产动态资料进行流动单元研究。这些方法在流动单元研究中均具有一定的实用价值。国外流动单元的研究已从定性研究进入定量研究阶段,并且越来越多地与油藏工程结合起来,但在流动单元的空间分布及流动单元成因研究上还远远不够。

2. 国内流动单元研究现状

自 1989 年第 2 届国际储集层表征技术研讨会后,大量的国外研究方法被引入到国内。国内的一些专家学者也开始提出自己对流动单元的理解和研究方法,特别是“八五”中后期流动单元的概念被国内研究者广为接受。

姚光庆等 (1994) 在研究新民油田低渗透细粒储集层砂岩时指出,岩石物理相是流动单元的基本岩石单位。认为从渗流特征角度来看,岩石物理相就是“水力单元”,因而有关岩石物理相的研究,均可以看做是流动单元的研究,只不过岩石物理相研究更侧重孔隙结构研究,并利用流动层段指标 I_{FZ} 对岩石物理相进行了研究。焦养泉等 (1998) 把流动单元定义为建筑结构的一部分,认为流动单元是沉积体系内部按水动力条件进一步划分的建筑块体,并指出流动单元在河道复合体内部是以隔挡层为边界的,隔挡层将砂体中的各级构成单位重新组合形成流动单元,流动单元的规模可能与一个点砂坝或几个点砂坝的复合体相当。裘怿楠等 (1996) 认为流动单元是指由于储集层的非均质性、隔挡和窜流旁通条件,注入水沿着地质结构引起的一定途径驱油,自然形成的流体流动通道。流动单元是一个相对概念,应根据油田的地质条件、开发条件而定。穆龙新等 (1999) 则认为流动单元是指一个油砂体及其内部因受边界限制,不连续薄隔挡层、各种沉积微界面、小断层及渗透率差异等因素造成的渗透率特征和水淹特征一致的储集层单元。

综上所述,国内流动单元研究已经起步,并取得了一定成果,正在深化发展中。

3. 流动单元研究展望

流动单元研究方兴未艾，为了适应油田开发的需要，流动单元研究在以下几方面，应有较大的发展。

1) 流动单元成因分析和研究。目前这方面的研究尚有欠缺，大多数学者对这方面研究涉及较少，需要进一步加强这方面的基础研究。

2) 流动单元的渗流力学分析。不同类型的流动单元，其渗流机制必然有所区别，对油田开发来说研究渗流特征具有十分重要的现实意义。

3) 流动单元的分类评价标准和研究方法。目前流动单元的研究没有形成一个切实可行的通用的分类评价标准，不同学者有不同的分类评价标准。流动单元的研究方法也有待进一步完善和改进。

4) 流动单元与剩余油分布的内在联系研究。流动单元从本质上来讲属于开发地质学的范畴，因此其研究成果必须应用于油田开发实践，将流动单元研究与可动剩余油形成分布研究结合起来，才能指导油田开发。

5) 多学科多方法结合研究流动单元。流动单元研究不是单一学科所能解决的，必须将高分辨率层序地层学、储集层沉积学、渗流力学等多学科理论综合运用，应用三维地震、井间地震及成像测井等多种新方法新技术，建立流动单元格架模型、仿真模型、预测模型，指导油田开发。

第二章 流动单元识别与划分的原理和方法

流动单元的识别与划分就是应用沉积学、测井地质学等多学科理论和方法,识别和划分边界为岩性或物性隔挡层限制或分割、具有相似岩石物理特征和渗流特征的储集砂体。流动单元这一特殊储集体的岩石物理特征和渗流特征主要受沉积作用控制,因此,识别和划分流动单元的主要依据和参数是储集层的沉积、岩石物理和渗流特征参数。流动单元识别和划分包括单井、剖面、多井流动单元类型识别与划分等几个方面,这些是建立流动单元静态模型的基础和重要依据。

第一节 流动单元识别标志

识别和区分流动单元,必须了解和认识各类流动单元在地质、地震、测井和渗流等方面的基本特征。根据这些基本特征可以确定流动单元的识别标志,从而有效识别和区分各类流动单元。

一、流动单元的主要特征

要想弄清流动单元的基本特征,就得从流动单元的基本概念入手。根据流动单元的基本概念,其基本特征可归纳如下。

1) 同一流动单元的岩石物理特征和渗流特征相似,而不同流动单元间有较大差别。流动单元与流动单元之间以不连续薄隔挡层、各种沉积微界面、物性差异面和小断层等地质界面为界。这些界面是识别和划分流动单元的基础和依据。此外,渗流特征也是识别和划分流动单元的重要特征和依据,在开发过程中有明显渗流差异的储集体,则应分属于不同的流动单元。

2) 流动单元的空间分布必须有一定范围,也就是说一个流动单元在垂向上必须有一定的厚度,平面上必须有一定的延展范围。没有一定厚度的界面及没有一定延展范围的地质体,不能看做单独的流动单元。这很重要,否则将使流动单元研究失去意义。

3) 不同沉积时期、不同沉积体的流动单元有各自特征规律和区别。

4) 油藏非均质研究是永恒的核心和主题,流体在地下储层孔喉网络中渗流受储层非均质性控制,不同流动单元之间应具有明显非均质差异,而同一流动单元内是相对均质储集体。流动单元研究是非均质性研究的深化和发展。

5) 流动单元可以是沉积作用、成岩作用、构造作用等多种作用形成,也可以是这些地质作用形成的复合体。流动单元界面可以不具等时性,是穿时界面。这样可以克服小层

划分时必须考虑等时界面的问题,从而使流动单元更有利于油田开发中应用。

6) 流动单元的岩石物理特征、空间分布及渗流特征影响油藏注水开发,要求我们在识别、区分和评价流动单元时应深入研究油藏开发生态,使流动单元识别、划分和评价更为合理。

二、流动单元的识别标志

流动单元,是空间上连续分布、内部有相似的岩石物理特征和流体渗流特征的储集体,是沉积、成岩、构造作用,多种作用联合、复合形成的,故流动单元在地质、地震、测井和油藏开发生态等方面有各自特征和规律。这些特征、规律和区别就是识别流动单元的重要标志。

1. 地质标志

1) 岩性标志: 具有在一定范围内稳定发育分布的泥岩、致密岩性、沉积微界面、封闭性小断层等封闭界面,是流动单元区分的最主要的和最明显的标志,也是识别和划分流动单元的首要标志(图 2-1、2-2)。

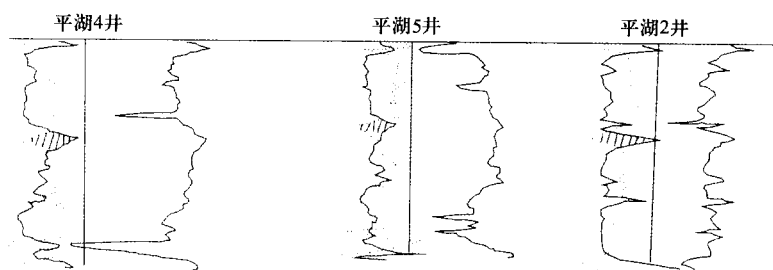


图 2-1 山字型低阻泥岩标准层
(据裘怿楠, 1996)

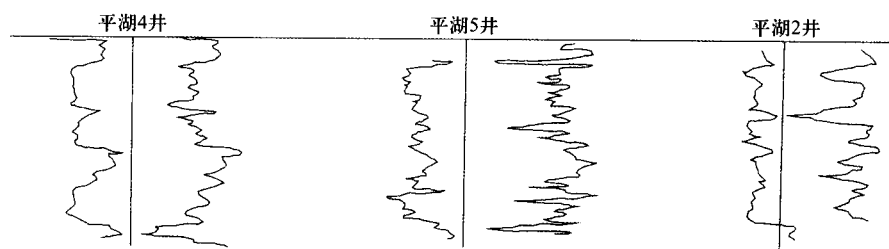


图 2-2 钙质标准层
(据裘怿楠, 1996)

2) 物性标志: 在流动单元研究中,物性差异是需要花大力气详细研究的内容之一,在岩性差异不明显的情况下,物性差异成为划分和识别流动单元的主要标志,但这种物性差异分界面必须有相当的空间连续分布范围,才能作为流动单元划分的隔挡层。如孤岛油田馆陶组河流相储集层厚层砂岩及胜坨油田沙二段三角洲相厚层砂岩常在地层剖面上存在明显物性差异分界面,可以作为识别和区分流动单元的标志(图 2-3)。

2. 测井曲线标志

流动单元作为一个地质体,具有相同或相似岩石物理特征,其测井曲线必然有相应特

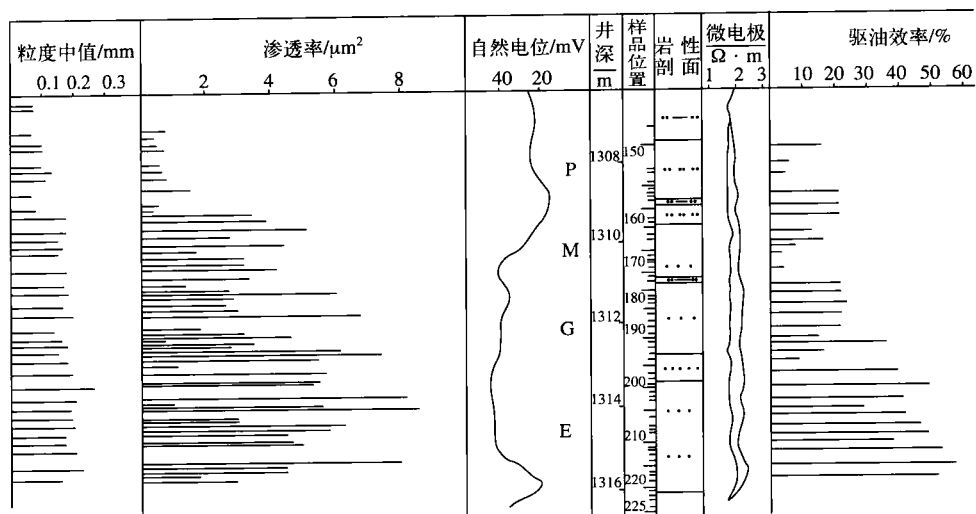


图 2-3 GD7-J1 井馆 6' 层流动单元剖面图

征和反映。

1) 微电极曲线特征 (图 2-4)。微电极测井是一种用来划分渗透性地层的重要手段, 幅度差的大小可以用来划分流动单元, 但还须考虑注水对微电极的影响。

2) 自然电位和自然伽马曲线特征 (图 2-4)。利用自然电位和自然伽马曲线可以识别地层中的岩性, 若岩性有较大差别, 可以定为不同流动单元, 但用自然电位和自然伽马曲线识别和区分流动单元的精度相对较低。

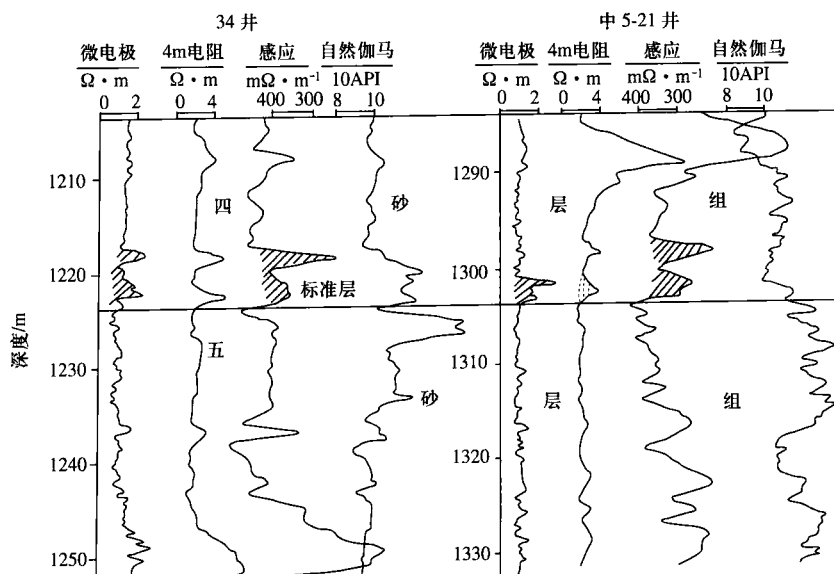


图 2-4 利用测井曲线识别流动单元

3) 声波测井曲线特征, 因声波测井能够识别储集层的物性, 故可用该测井曲线特征进行流动单元识别和划分, 但因声波测井信息易受其他因素的影响, 故利用该曲线信息进行流动单元划分的效果常不很理想。