

油层伤害对 岩性油藏流动单元的影响

● 以鄂尔多斯盆地华池油田、马岭油田为例

朱玉双 著



**THE IMPACT OF FORMATION
DAMAGE UPON FLOW UNITS
IN LITHOLOGIC PINCHOUT OIL
AND GAS ACCUMULATION**

With reference to Huachi and
Maling Oilfield in Ordos Basin



西北大学出版社
NORTHWEST UNIVERSITY PRESS

■ 责任编辑 / 赵 郅
黄伟敏
■ 封面设计 / 王 祚

油层伤害对 岩性油藏流动单元的影响

● 以鄂尔多斯盆地华池油田、马岭油田为例

**THE IMPACT OF FORMATION
DAMAGE UPON FLOW UNITS
IN LITHOLOGIC PINCHOUT OIL
AND GAS ACCUMULATION**

With reference to Huachi and
Maling Oilfield in Ordos Basin

ISBN 7-5604-1991-7



9 787560 419916 >

ISBN 7-5604-1991-7/P·68

定价: 28.00元

· 西北大学学术著作出版基金资助出版

油层伤害对岩性油藏流动单元的影响

——以鄂尔多斯盆地华池油田、马岭油田为例

朱玉双 著

西北大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

油层伤害对岩性油藏流动单元的影响 / 朱玉双著. 西安: 西北大学出版社, 2004.12

ISBN 7-5604-1991-7

I. 油... II. 朱... III. 岩性油气藏-研究 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 142752 号

油层伤害对岩性油藏流动单元的影响

朱玉双 著

西北大学出版社出版发行

(西安市太白北路 229 号 邮编 710069 电话 88302590)

新华书店经销 西安煤航地图制印公司印刷

889mm × 1194mm 1/16 开本 8.25 印张 210 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-5604-1991-7/P · 68

定价: 28.00 元

内 容 摘 要

本书以丰富的资料为基础,提出了岩性油气藏流动单元切实可行、且极具理论意义的划分方法,作者认为在钻井开发过程中储集体是动态变化的,流动单元模型也是动态变化的,首次利用真实砂岩微观孔隙模型对不同流动单元的渗流机理及在油层伤害条件下的渗流机理进行了研究,指出了油层伤害条件下动态流动单元模型的建立方法,得出了剩余油与流动单元的关系,这对油气田开发有重要的指导价值。

本书可供广大油田开发工作者及有关大专院校师生参阅。

前 言

本书以鄂尔多斯盆地华池油田、马岭油田为例,运用沉积学、储层地质学、矿物学、开发地质学、油藏工程学、油田化学等多学科的理论、方法和技术,采用微观和宏观相结合、动态和静态相结合、理论和生产实践相结合的办法,针对岩性油气藏的特点,研究了油层伤害对储层流动单元的影响。建立了研究区的储层流动单元模型,对储层伤害进行了实验评价,得出了油层伤害对储层渗流特征及流动单元的影响。该研究的主要认识和创新点在于:

1. 首次利用真实砂岩微观孔隙模型进行了流动单元的渗流机理研究,并利用真实砂岩微观孔隙模型流动实验对流动单元的划分结果进行验证,使所建立的流动单元模型更为可信。
2. 多类别流动单元模型并联实验表明,相同类别的流动单元表现了相似的吸水和产液状况,不同类别的流动单元之间吸水和产液状况有着明显的差异。并且随着水驱油的进行,不同流动单元之间的吸水和产液状况差距很快加大。表明了流动单元在宏观上对流体的流动起着明显的控制作用。
3. 油井的见效见水与注采井间流动单元的对接类型关系密切,注采井间为同类流动单元对接时,油井一般表现为见效快见水慢的特征;注采井间为不同类别流动单元对接时,油井一般表现为见效慢见水快的特征。
4. 马岭油田木钵区块延 10 油层存在弱速敏,并且岩石的渗透率不同,临界流速也不同,一般岩石的渗透率越低,临界流速也越低,反之越高;木钵延 10 油层存在弱到中等水敏,并且注入流体矿化度越低,水敏伤害越强。逐渐降低注入水的矿化度会减轻水敏造成储层伤害的程度,最终注入水的最佳矿化度范围为 2~5g/L。
5. 华池油田长 3 储层结垢对储层的渗透率影响较大,影响程度与注入水和地层水在储层中的接触混合次数有关,混合次数越多,储层渗透率降低幅度越大,因此长 3 储层的高渗层、裂缝及近井底地带结垢堵塞将应较严重。
6. 首次利用真实砂岩微观孔隙模型,研究了油层伤害条件下的渗流特征(油层伤害以结垢伤害和水敏伤害为例),研究结果表明,油层伤害条件下水驱油的入口压力增加,水驱油的微观绕流加重,簇状油块加大,驱油效率降低,水驱油的宏观波及系数也降低,从而降低了油层采收率。

全书共分六章,第一章为绪论;第二章介绍了实例油田的地质概况;第三章介绍了储层流动单元模型的建立;第四章介绍了油层伤害特征;第五章阐述了油层伤害试验评价;第六章阐述了油层伤害对流动单元的影响,并指明了建立油层伤害条件下动态流动单元模型的方法。

Foreword

Based on the theory and methods of sedimentology, reservoir geology, mineralogy, exploitation geology, reservoir engineering and reservoir chemistry, the impact on flow unit of formation damage was studied in lithologic pinchout oil reservoir, taking Huachi Oilfield And Maling Oilfield As examples. The micro and macro, dynamic and static, and theory and practice were combined in the study. In the study the flow unit model was set up, the evaluation of formation damage was done, the displacement characters of oil by water under the reservoir injury were obtained, and the infection to flow unit was discussed. The mainly fruits are as follows:

1. It is the first time that the flow unit's seepage mechanism were studied with natural sandstone micromodels, and the flow unit that has been plot out was validated using seepage experiment with natural sandstone micromodels for the first time. The flow unit model should be close the true by the study method.
2. The experiment of combined natural sandstone micromodels indicate that the condition of the water absorption and liquid production are similar when the flow units are same, the condition will be difference obviously when the flow units are different, and the difference will be increase as advancing of experiment. It represents that flow units not only in micro but also in macro control the flow characters.
3. The waterflooding response of oil wells are relate closely to the abutment manner between the oil well and water injection well. When the flow units are same between the oil well and water injection well, the responding of oil well will come soon, and water breakthrough will come late. When the flow units are different between the oil well and water injection well, the responding of oil well will come late, and water breakthrough will come soon.
4. The velocity sensitivity is weak in Mubo Yan10 reservoir, moreover the critical speed is related to permeability, and the critical speed is generally low when the permeability is low. In fact, the velocity-sensitive injury in waterflooding will be stronger than the results of experiments for the salinity of injected water being higher in experiment than in practice. the water sensitivity is weak to middle, and the extent of water sensitive damage will be reduced when water salinity is increased. According to the experiments the extent of water sensitive damage will be reduced when the water salinity is increased gradually and the suitable salinity of injected water is 5-10g/L.
5. Scale deposit affects permeability largely in Huachi Chang3 reservoir. The infection extent is relate to the commixed times of injected water and formation water, the more commixed times of injected water and formation water, the more falling extent of permeability. It represents that the scale deposit will be seriously in the layer with high permeability, fracture and the area near oil well bottom.
6. The study were done for the first time by using natural sandstone micromodels under formation injury. The

research represents that the entrance pressure will increased, the heterogeneity of pore structure will become stronger, the injected water will make bigger detours, and the sweep efficiency in micro and macro will decreased under reservoir injury, as the results the reservoir recovery efficiency is reduced.

The book is composed of 6 Chapters. Chapter 1 is overview of the contents. Chapter 2 introduces the geology of the example oilfields. Chapter 3 introduces the methods to base the reservoirs flow units models. Chapter 4 introduces the damage characters of reservoirs. Chapter 5 describes the estimation by experimentation. Chapter 6 reveals the reservoirs injury influence to flow unit, and point out the ways to base the dynamic flow units under the damage conditions.

The book had been guided and supported by Professor Liu Yi-qun, and had been given the selflessness help by Professor Qu Zhi-hao and Senior Engineer Kong Ling-rong of Northwest University, and had been given the tripartite help by the Associate Professor Ren Xiao-juan and Wang Fen-qin of XI'AN Oil University. The deep thanks is expressed to all who giving their helps to this book.

The author

2004.11.

目 录

第一章 绪论	(1)
一、国内外研究进展与现状	(1)
二、研究的目的是意义	(3)
三、研究思路及研究路线	(4)
第二章 油田地质概况	(7)
第一节 地层划分	(7)
一、地层概况	(7)
二、研究区小层划分	(8)
三、小层岩性及电性特征	(8)
第二节 区域构造背景	(10)
第三节 沉积体系与沉积相	(13)
一、辫状河沉积亚相	(14)
二、三角洲前缘亚相	(16)
第三章 储层流动单元模型的建立	(18)
第一节 流动单元的划分	(18)
一、流动单元划分步骤	(18)
二、流动单元划分的基本原理及方法	(20)
第二节 流动单元划分结果	(22)
一、华池油田华 152 块长 3 油层流动单元的划分	(22)
二、马岭油田木钵区块延 10 油层流动单元的划分	(24)
第三节 流动单元类别的影响因素	(28)
一、岩石学特征	(28)
二、粘土矿物特征	(30)
三、储集性能	(31)
四、粒度分布特征	(32)
五、两相渗流特征	(33)
第四节 流动单元非均质性及其对油气田开发的影响	(33)
一、储层流动单元平面分布特征——层内非均质性	(34)
二、储层流动单元剖面分布特征——层间非均质性	(34)
三、岩石孔隙结构及物理性质——微观非均质性	(35)
四、储层流动单元对油气开发的影响	(43)
第四章 油层伤害特征	(48)
第一节 油层伤害机理	(48)

一、油层伤害机理	(48)
二、产生油层伤害的工艺过程	(49)
三、油层伤害研究的方法和技术	(52)
第二节 储层保护技术	(53)
一、油气层保护技术研究现状	(53)
二、钻井过程中的油气层保护技术	(54)
三、采油作业过程中的油气层保护技术	(55)
四、稠油油藏的油气层保护	(55)
五、低渗透油藏的油气层保护	(55)
六、水平井油层保护技术	(56)
七、系统研制的发展现状	(56)
第三节 研究区油层的潜在伤害	(57)
一、油层结垢对油田生产的影响及结垢机理	(57)
二、华池油田华 152 块油层结垢对储层的危害	(59)
三、马岭油田木钵区块粘土矿物对储层的潜在危害	(64)
第五章 油层伤害试验评价	(67)
第一节 华池油田华 152 块长 3 油层结垢伤害试验评价	(67)
一、实验方法	(70)
二、储层结垢对渗透率的影响	(70)
三、储层结垢分布特征	(76)
四、减轻结垢损害实验研究	(77)
第二节 马岭油田木钵区块延 10 油层水敏伤害试验评价	(86)
一、速敏实验	(86)
二、水敏实验	(90)
第六章 油层伤害对流动单元的影响	(96)
第一节 油层伤害对流体渗流特征的影响	(96)
一、实验方法	(97)
二、水敏伤害条件下的水驱油特征	(99)
三、结垢伤害条件下的水驱油特征	(104)
第二节 油层伤害对驱油效果的影响	(107)
一、水敏伤害时的驱油效率	(107)
二、结垢伤害时的驱油效率	(114)
第三节 油层伤害对流动单元的影响	(115)
一、油层伤害对流动单元的影响	(115)
二、流动单元与剩余油分布	(117)
参考文献	(119)

第一章 绪 论

一、国内外研究进展与现状

1. 流动单元的研究进展与现状

流动单元的概念早在 1984 年是由国外的科学家 Hearn 提出来的。他将流动单元定义为“影响流体流动的岩性和岩石物理性质在内部相似的、垂向上和横向上连续的储集带”。在每个单元的内部,影响流体流动的地质参数相似,而每个单元之间则表现了岩性和岩石物理性质的差异。

流动单元是国外 20 世纪 80 年代中后期兴起的一种储层研究新方法,而在国内则是最近几年才开始进行探索性研究,由于具体的地质条件和实际资料的限制及研究问题的出发点不同,对流动单元的认识及研究方法也不完全一致。

(1) 国外研究状况

油藏描述对于开发来说无疑是相当重要的一环。20 世纪 80 年代以来世界上油藏描述的趋势大致是从微观到宏观、由定性到定量、由单一学科向多学科方向发展。在油藏描述中对于储层的分层越来越细,由此产生了流动单元的概念。

1960 年 Bishop 提出的“实用确定单元”,是用沉积体的随机厚度切片来划分细层。1962 年 Testerman 又提出使用渗透率资料统计油藏的“分层技术”。1984 年 Caent 提出过使用分辨率高的测井曲线分层的“层序分析法”。同年, Hearn 在研究美国怀俄明州 Hartzog Draw 油田 Shannon 砂岩储层时,在把 Shannon 砂岩储层划分为中心坝相、坝缘相 I、坝缘相 II、坝间相和生物扰动粉砂岩相的基础上,进一步将 Shannon 砂岩划分为五个流动单元,并把流动单元定义为横向和垂向上连续的储集层。1987 年, W.J.Ebanks 对流动单元又作了进一步的阐述,他认为流动单元是根据流体在岩石中流动的地质和物性变化进一步细分出来的岩体。1988 年, Rodriguez 等认为流动单元可为一个相带或相组合,也可以在区域上稳定的泥岩为界。1993 年, Maghsood 以及 Amaefule 等提出了水力单元或孔隙几何相的概念,它是指给定岩石中水力特征相似的层段,是总的油藏岩石体积中影响流体流动的油层物理性能恒定不变,且可与其它岩石体积区分的有代表性的基本体积。这一概念比流动单元更细,流动单元强调“相似性”,水力单元则强调“均质性”,而实际上二者的界限不是很清晰。1995 年 Guangming Ti 等对每层物性参数进行聚类,认为每一聚类组即为一个流动单元。1996 年, Sillseth 等认为每个成因相即为一个流动单元。Kramer 等也以沉积相为起点,把每个相或岩相看作一个流动单元。

(2) 国内研究状况

流动单元的概念在国内被广为接受是在“八五”中后期,特别是在第 2 届国际储层表征技术研讨会(1989)以后,大量的国外研究方法被介绍到国内,而国内的专家学者也逐渐提出了他们自己对流动单元

概念的理解和研究方法。可以说，流动单元这一概念在中国石油地质界的广泛应用主要始于 1990 年。

1995 年，姚光庆等在研究新民油田低渗细粒储集砂岩时指出，岩石物理相是流体流动单元最基本的岩石单位，并称从渗流特征角度看，岩石物理相就是“水力单元”，只不过岩石物理相更侧重于孔隙结构方面的研究。1996 年，裘亦楠和穆龙新等人均从成因角度来探讨流动单元的定义，他们将流动单元定义为一种特殊的流体流动通道，认为储层的非均质性由宏观到微观具有层次性，油田处在一定的阶段，由某一层次非均质性引起的矛盾为主要矛盾，此时可以把下一层次的非均质性看成是均质的，即作为油水运动的基本单元；因此“流动单元”概念的内涵应针对开发生产中面临的矛盾而有所变化（如表 1-1）。

表 1-1 不同开发条件下流动单元的含义及确定方法（1996）

开发条件	生产中面临的矛盾	流动单元	确定方法
合注合采		油砂体	油层组划分
细分层系	层间矛盾	成因单元砂体组合	沉积相研究
加密井网	平面矛盾	成因单元砂体	细分沉积微相
厚层提高采收率	层内矛盾加剧	岩石物理相或孔隙几何形状	流动分层指标（FZI）

1998 年，焦养泉、李思田等人则把流动单元定义为建筑结构的一部分，并认为流动单元是指沉积体系内部按水动力条件划分的建筑块体，流动单元的概念已逐步由“静”转向了“动”。1999 年，吴胜和等人认为，连通体内储层质量差异反映了连通体内流体渗流的差异，具有同一储层质量的砂体即为同一类流动单元。因此一个连通体可划分为若干个流动单元。同年，阎长辉等人认为，研究流动单元要动静结合，针对流体在开发过程中不断的变化而提出了动态流动单元的概念。2000 年，窦之林、赵翰卿、彭仕宓等人均将流动单元定义为影响流体流动的岩石物理性质和岩层特征的连续的储集带。关振良从宏观和微观两方面定义了流动单元，从宏观上认为流动单元是具有相同孔渗特征的微相或岩相组合，从微观上考虑影响流体流动的微观孔隙结构特征，以修正的 Kozeny-Carmen 方程和平均流动半径为基础进行流动单元的识别和表征。2002 年，黄修平等人认为，流动单元的本质应反映油水井之间流体流动差异性，流动单元的确定除了受砂体本身的沉积特征、成岩作用和构造特征控制以外，还要受生产动态等因素的影响。

（3）评述

可以看出，目前国内外流动单元的研究方法多样，但多半还处于探索阶段，有的还只是理论上的探讨，有的只能用于取心井，尚不能在全盆地较大范围推广开来。目前在生产实践中用得较多的方法是沉积相法，即将同一个相视为一类流动单元，该方法在勘探阶段和开发的早期阶段成岩作用不强烈的区域应该是较切合实际的，在国内外实际应用中取得了较好的效果，如我国大庆油田在开发中采取细分沉积微相的办法，把每一个微相作为一个流动单元，应用所建立的流动单元模型对剩余油富集部位进行了预测，在二次加密和三次加密工作中取得了显著效果。但由于受沉积作用和埋藏成岩作用的影响，每个相带的物性变化可能会很大，即同一相带不同部位“储层质量”不同，流体在其内的渗流特征也会不同，流动单元类别也就不同，从而对生产动态的控制作用也不尽相同。因此，依据沉积微相所建立的流动单元模型，在指导生产上会产生一定的偏差。尽管如此，沉积相研究在流动单元模型建立上仍然起到宏观的指导作用。

从流动单元的定义到流动单元的划分和应用，国内外研究工作者做了多方面探索性研究，其研究方法已逐步从定性走向定量，大致可分为四种：即根据岩相及宏观岩石物理参数进行流动单元的研究，应用孔

隙几何学进行流动单元的研究,应用传导系数、存储系数等参数进行流动单元的研究,应用生产动态资料进行流动单元的研究。

总的来说,目前国内外学者对流动单元的理解不尽相同,国外学者紧密围绕 Hearn (1984 年) 的原始定义开展了大量的研究,方法上从定性、半定量发展到定量,概念则由原始的纯地质概念发展成地质和油藏工程通用的概念,具有较强的实用性;国内的大多数研究者都把流动单元作为建筑结构的一部分,同时还有人认为流动单元是个相对概念,其内涵应根据不同的开发条件和生产中面临的矛盾有所变化(2000 年)。

对于我国陆相储层来说,由于其相变快、油气藏类型多样、储层非均质性较强烈,剩余油分布复杂,如何发现一种既节约开发成本,又提高石油采收率的办法是我国石油工业亟待解决的问题,流动单元概念恰恰是在这种背景下提出的。然而,目前在国内流动单元的概念及其划分方法还没有形成统一的认识,甚至还存在误区,流动单元模型及其对剩余油形成、分布的控制规律的研究还很少见。特别是针对岩性油气藏流动单元划分方法上应注意的问题,更少文献提及。

2. 油层伤害的研究进展与现状

石油天然气工业一诞生客观上就存在地层损害的问题。在 20 世纪 30 年代初已提出了损害、损伤这个名词,美国石油学会(SPE)于 1974 年召开了第一届防止地层损害国际学术会议,每两年召开一次。70 年代以来澄清了“好油井是伤害不了的,保护不保护没什么关系”等等糊涂与错误概念。70 年代防止油层污染为石油技术最重要的成就之一。目前,油层伤害及其保护技术在国际上已发展成为油气勘探、开发各个生产作业全过程的一项重要技术。我国在 50 年代开始意识到油层伤害问题的严重性,80 年代从理论和实践上认识到对储层伤害与保护进行全面研究的必要性和重要性,并开展了保护储层的研究(1993 年)。目前国内外在油层伤害与保护研究方面体现了一个共同特点,即在更加重视与实际油藏实际条件相符的室内实验评价以及相应的机理研究,但国内与国外相比在以下方面还有差距:①伤害的宏观实时监测和宏观伤害程度的预测能力;②保护储层的技术方面。对剩余油分布起着直接影响的、在油层伤害条件下多相流体的渗流机理及油层伤害对流动单元的影响方面的研究,国内外研究均较少涉及。

二、研究的目的是意义

岩性油气藏是重要的油气藏类型之一。鄂尔多斯盆地内发育着典型的岩性油气藏,油气靠岩性圈闭成藏,该岩性油气藏在开发中面临很多问题和困难,虽然不同区块不同层位在油田生产中所面临的问题有所不同,如华池油田华 152 块开采中所面临的问题是:油井一旦见水,则产液量严重下降,而地层压力还保持在较高水平;马岭油田木钵区块所面临的问题是:油井一旦见效则很快就进入高含水期,注入水一直可以注入,但造成二油田目前生产中的这些问题的主要根结有两个:①对地质体认识不清,特别是对储层非均质性认识不清,使开发中注采井射开的层段在纵向和平面非均质强,导致油井见效慢、见效后很快见水,且很快进入高含水阶段;②油层伤害也是影响生产状况的重要因素,如华池油田华 152 块油井见水的产液量严重下降,结垢伤害问题是无法回避的问题,同样马岭油田木钵区块主要产层(Y10)的水敏问题也是影响其目前生产状况的主要因素。其它岩性油气藏在开发过程中,特别是开发中后期均可能存在上述问题。

因而,在油气藏开发过程中对储集体的认识要求更深更细,特别是要加强对储集体非均质性的认识,

同时要求加强储层伤害研究。

提高油藏描述的精度、确定剩余油的分布、改善开发效果的关键是认识油藏的非均质性，流动单元（flow unit）是目前研究储层非均性的一个新方法。流动单元模型的建立，使静态的储层地质模型与地下流体开发过程中的动态分布紧密结合起来，改变了过去地质模型与剩余油分布研究往往脱节的状况，虽然在地质建模中也开始注重动态验证，但未从根本上解决模型与动态对应差的问题，也就降低了储层地质模型在开发中的可预见性。流动单元是控制地下水渗流的最小的独立单元，也是直接控制着地下剩余油的分布特征的最小单元，因此储层流动单元模型的建立将对储层有更加深入的认识，未来精细油藏描述的发展趋势是建立储层流动单元模型，为生产调整及挖潜提供坚实的地质依据。

对油层伤害问题人们认识得较早，油层伤害的种类很多，人们在油层伤害方面，特别是在伤害机理和防护上也做了很多有意义的工作，但对油层伤害条件下油层流体的渗流机理问题研究较少，而很多岩性油气藏在开发过程中油层保护措施跟不上（有经济原因，也有技术原因），即这些岩性油气藏多半是在油层伤害的条件下进行开采的，因此，油层伤害条件下油层流体的渗流机理研究显得尤为重要，因为流体的渗流机理不同，残余油特征也会不同，下一步的挖潜方向也就不同，因此，油层伤害条件下油层流体的渗流机理是非常重要的科学前沿问题。

油层伤害的最终结果是使储层的渗透率下降，而渗透率又是影响流体渗流特征的非常重要的参数，也是划分流动单元占权重最大的参数，油层伤害必然会对流动单元产生影响。研究油层伤害条件下的渗流特征，及油层伤害对流动单元的影响，以动态的观点为指导，为正确地指导油田生产提供更为可靠的依据，对提高岩性油藏的开采效率具有重要意义。

总之，鄂尔多斯盆地内岩性油气藏的特点：①物性差造成油气藏“低孔、低渗、低产”的局面；②储层非均质性强造成相同的相带内储层物性差距悬殊；③由于低孔、低渗造成油层伤害问题尤为突出，使鄂尔多斯盆地内出现“井井有油，井井不流”的状况，剩余油的挖潜更加困难。本文正是针对鄂尔多斯盆地内岩性油气藏的这些特点和问题，试图从两个方面探讨影响岩性油气藏的开采效果的原因：①系统开展流动单元研究，特别是加强储层非均质性的认识；②深入分析该区油层伤害特点及对储层物性和开发效果的影响，为鄂尔多斯盆地的油气开发提供了新的方法和依据。

本研究针对陆相储层多为低孔、低渗、非均质性强的特点，提出了岩性油气藏流动单元的划分方法和研究对策。研究中打破传统观念，对岩性油气藏流动单元进行了综合研究，建立了更为真实的储层流动单元模型，对储层非均质性有了更加深入的认识；同时本文利用真实砂岩微观孔隙模型这一先进手段，对岩性油气藏储层伤害问题进行了实验评价，提出了减缓或解除储层伤害的措施；与此同时还对油层伤害时多相流体的渗流机理这一科学前缘问题进行了微观实验研究，提出在油层伤害条件下储层流动单元是动态变化的认识，探讨了研究区油层伤害条件下动态储层流动单元建立的方法。毋庸置疑，该项研究对鄂尔多斯盆地乃至所有岩性油气藏的开发具有重要的意义。

三、研究思路及研究路线

研究中始终以动态的、发展的观点观察、研究和思考问题，对存在的现象和结果进行辩证分析，以保

证研究成果的客观性和合理性。同时，研究中不拘泥于传统的观点和研究方法，而是针对岩性油气藏的特点和问题制定合理的研究方案，如在流动单元的研究中，打破了以往人们在流动单元研究中的误区。①明确了流动单元是“流动特征的相似性”储集块体，而储层评价是一个综合评价，同一级别的储层其流动单元类别可以完全不同；②针对岩性油气藏的特点，提出流动单元边界泥岩、不连续薄隔挡层、各种沉积界面，也可以是物性遮挡，并选取渗透率、孔隙度做为岩性油气藏流动单元的划分参数，采取多学科、多方法相结合进行综合研究。本研究的路线如图 1-1 所示。

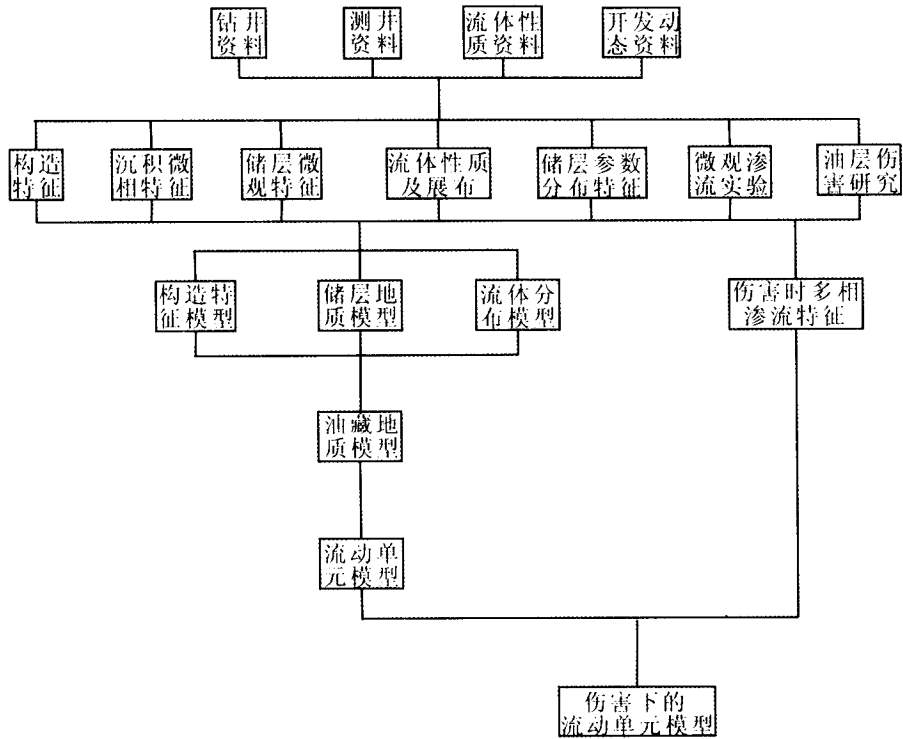


图 1-1 油层伤害对流动单元影响研究技术路线图

主要研究成果

1) 次在研究区块进行了流动单元研究，在储层非均质性方面有了更清晰的了解。流动单元研究中明确了流动单元不属于储层评价范畴的观点，强调流动单元内涵在于“流动特征相似”的认识，由此提出岩性油气藏流动单元边界可以是区域上发育的泥岩、各种沉积界面、小断层及物性差异。鄂尔多斯盆地岩性油气藏断层不发育，流动单元边界以泥质、钙质夹层及物性差异为主。

2) 用真实砂岩微观孔隙模型进行了研究区流动单元的渗流机理研究，并首次利用真实砂岩微观孔隙模型流动实验对流动单元的划分结果进行验证，使建立的流动单元模型更为可信。流动单元的渗流机理研究表明，流动单元类别不同，两相渗流特征也不同；不同类型的流动单元同时射孔开采将发生干扰，使注入水波及系数降低。

3) 在流动单元与生产对应研究中，提出同类流动单元吸水与产液量相似，不同流动单元之间吸水与产液量差异较大，并且随着开发的继续，这种差距会越来越大；油井的见效见水与注采井间流动单元的对

接类型关系密切，注采井间为同类流动单元对接时，油井一般表现为见效快见水慢的特征（C类流动单元除外）；注采井间为不同类流动单元对接时，油井一般表现为见效慢见水快的特征。由此建议油田在开发中，采取合采合注的井，应尽量射孔同类流动单元，减少层间干扰，增大纵向波及系数，提高油层的采收率；注采井间应尽量射开同类流动单元，使同类流动单元对接，减少平面宏观上“指进”和微观上的“直进”，增加平面波及系数和驱油效率，提高油层的采收率。

4) 首次利用真实砂岩微观孔隙模型研究了油层伤害条件下的渗流特征（油层伤害以结垢伤害和水敏伤害为例），研究表明，油层伤害条件下水驱油的入口压力增加，水驱油的微观绕流加重，簇状油块加大，驱油效率降低，平均降低了11.35%；油层伤害条件下，水驱油的宏观波及系数降低，降低了油层采收率。

5) 油层伤害降低了油层渗透率，而渗透率又是划分流动单元占权重最大的参数，油层伤害必定引起伤害部位流动单元的改变。研究表明（油层伤害以结垢伤害和水敏伤害为例），伤害后的岩石渗透率与原始渗透率呈一定相关性，并且相关系数较高，由此可利用该相关方程对油层伤害部位的流动单元进行校正，给出油层伤害后的流动单元模型，为下一步生产措施提出地质依据。

第二章 油田地质概况

华池油田及马岭油田均位于鄂尔多斯盆内。华池油田华 152 块主力产层为三叠系延长组长 3 油层组，为岩性油气藏。马岭油田木钵区块主力产层之一侏罗系延安组延 10 油层组，为岩性构造油气藏。华池油田长 3 油层组主力含油层段长 3₃砂层组为三角洲前缘相带沉积的砂体，马岭油田延 10 油层组长 10₁砂层组为辫状河河道沉积的砂体。

第一节 地层划分

正确地划分沉积地层是地质研究的基础，也是油气藏开发研究必不可少的深入细致的工作。随着研究阶段的不同，对地层的划分的粗细程度也不一样。一般在开发阶段，地层划分得较细，特别是在开发的中后期，地层一般要划到小层，只有这样才能对层内的储集体有更加深入地认识，正确地指导注水开发。

一、地层概况

根据鄂尔多斯盆地三叠系延长组三角沉积序列，结合区域上各主要层段由岩性、电性所显示的标志层（K₀~K₉）将其划分为五个层段（T₃Y₁~ T₃Y₅），十个油层组（长 1~长 10），岩性特征如表 2-1。本研究层位隶属长 3 油层组。

盆地侏罗系延安组为一套砂泥岩互层夹煤层沉积（朱义吾，1997），地层厚约 300m，呈下粗上细的正旋回。依据次级旋回及沉积性质的变化，分为延 4+5、延 6、延 7、延 8、延 10 六个油组 43 个小层，18 个生产层。岩性电性特征如图 1-1。本研究层位隶属延 10 油层组。

二、研究区小层划分

研究中依据“旋回划分，分级控制”的原则，对研究区华池油田华 152 块长 3 油层、马岭油田木钵区块延 10 油层进行了详细的小层划分与对比。划分过程中，首先从取心井出发，进行单井沉积旋回分析，然后建立标准剖面 and 骨架网，在此基础上反复对比，合理调整层组界线，使骨架网上各井各层组界线完全闭合，直到统一层组划分。

采取沉积旋回为主、地层厚度为辅，先对大段后对小段，先对主要标志层后对辅助标志层的办法，将在一个开发区内超过一半面积独立存在的砂层划分为一个小层。划分结果如表 2-2、表 2-3。

华 152 井区三叠系延长组由于内部缺乏标志层，因而小层划分对比相对困难。木钵区块延安组标志层较为明显，区域标志层 B1、B2、B3 在该区为稳定的煤层或碳泥，电性曲线表现为高阻、高时差、大井径，可对比性强。延 9 顶煤层分布也较稳定，可作为辅助标志层（图 2-2）。