

三角洲低渗透 储层流动单元 四维模型及剩余油预测

李 健 / 著



石油工业出版社

三角洲低渗透储层流动单元 四维模型及剩余油预测

李 健 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书利用多学科的理论和方法技术,最大限度应用计算机手段,综合研究和揭示在不同开发阶段流动单元内剩余油变化机理和分布规律,揭示了油气藏中剩余油的主要类型和空间分布,建立了可动剩余油分布模式。

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

三角洲低渗透储层流动单元四维模型及剩余油预测/李健著.

北京:石油工业出版社,2004.12

ISBN 7-5021-4866-3

I. 三…

II. 李…

III. 三角洲相-低渗透油层-剩余油-分布

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 122967 号

三角洲低渗透储层流动单元四维模型及剩余油预测

李健著

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

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心排版

印 刷:北京晨旭印刷厂印刷

2004 年 12 月第 1 版 2004 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:8.5

字数:211 千字 印数:1—1000 册

定价:20.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

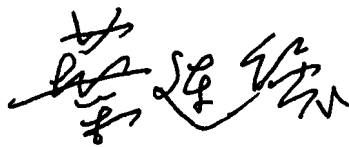
版权所有,翻印必究

序

《三角洲低渗透储层流动单元四维模型及剩余油预测》一书是作者在博士论文的基础上深化发展的成果。作者李健从事油田勘探开发工作十余年,现任中原油田副总地质师,在油田勘探开发方面有较高的造诣,为我国石油工业的发展作出了突出的贡献,该书是他多年工作的结晶。他抓住我国东部油田注水开发已数十年,各个油田都进入了高、特高含水期的特点,揭示了三角洲低渗透储层流动单元宏观、微观、渗流参数演化规律,阐明三角洲低渗透储层中宏观剩余油、微观形成机理、分布规律、控制因素这一重大科技问题,也是现代国际学科前沿难题。作者应用了当代国内外储层、油藏研究、描述、表征和预测的最新理论和方法技术,以濮城油田 20 余年注水开发沙二段三角洲低渗透储层油藏为例,系统地、深入地探讨了 20 余年注水开发后三角洲低渗透储层宏观、微观参数、渗流参数和物理模拟参数演化规律、演化机理,建立了三角洲低渗透储层油田四维模型、仿真模型和剩余油预测模型,预测了可动剩余油的分布。

该书的主要特色是首次系统深入地论述了三角洲低渗透储层流动单元油藏四维模型的概念,研究建模的原理方法、特征、研究内容及三角洲低渗透储层流动单元四维模型、仿真模型,提出油藏开发流体动力地质作用是导致储层参数、油藏流场演化的重要控制因素。预测了可动剩余油分布,给高或特高含水期油田改善开发效果,提高采收率提供了科学依据,深入发展了陆相断陷湖盆开发地质学的理论和方法。该书是本学科领域的重要参考书。

中国科学院院士:

Handwritten signature of Li Jian in black ink.

前言

油气是能源的重要成员,是工业的“血液”,也是现代社会发展的基础和国民经济发展的支柱。我国东部油气田无论储量还是产量在我国石油工业中都占有重要地位,目前这些油气田已勘探开发数十年,多数油气田已进入高、特高含水期,综合含水超过 90%,但采收率仅为 29%,在这种情况下要实现油田稳油增产,提高采收率,必须研究地下储层和储层参数变化规律、变化机理,建立油藏动态模型,揭示剩余油形成机理、分布规律,才能实现提高采收率的目的。

该书是笔者承担国家科技攻关和中石化集团总公司科技攻关课题的部分研究成果,研究区是注水开发 20 余年的濮城油田沙二段辫状三角洲、湖泊三角洲的渗透储层。研究中综合应用多学科理论、方法和技术,最大限度的应用计算机技术,宏观、微观相结合,综合研究与物理模拟相结合,定性、定量相结合,研究和揭示了 20 余年注水开发的濮城辫状河三角洲、湖泊三角洲低渗透储层油藏在初、中、高、特高含水期储层流动单元宏观、微观、渗流参数动态演化规律、演化机理,建立了流动单元动态四维模型、仿真模型,阐明了不同含水辫状三角洲、湖泊三角洲储层剩余油形成机理和分布规律,揭示了油藏中剩余油类型、分布规律,预测了可动剩余油分布,改善了开发效果。

该书分八章,绪论论述三角洲低渗透储层流动单元四维动态模型研究现状、主要研究内容、研究特色。第一章阐述濮城油田地层格架、构造格架及演化,储层沉积特征、油气藏类型及分布,油田开发简史。第二章论述三角洲低渗透储层流动单元特征、识别标志。单井流动单元识别原理和方法。井间流动单元识别原理和方法及流动单元模型。第三章论述三角洲低渗透储层宏观参数重要特征,层间非均质性、辫状河、湖泊三角洲储层平面非均质性。第四章阐明三角洲低渗透储层微观参数动态模型概念、微观参数选择原则和依据,微观参数动态模型和流动单元微观参数变化规律,变化机理。第五章阐述流动单元渗流参数优选原则和计算方法,渗流参数动态模型和渗流参数变化机理。第六章论述三角洲低渗透储层流动单元四维模型研究的意义、国内外研究现状,神经网络多模型建模原理和方法,储层参数 MIMO 模型和储层参数四维模型。第七章阐述三角洲低渗透储层流动单元仿真模型的内涵。仿真模型建立的原理和方法,流动单元微观仿真模型。第八章论述三角洲低渗透油藏宏观剩余油分布模式,微观剩余油分布模式,微观剩余油形成机制和微观剩余油控制因素。

本书从流动单元动态演化角度揭示三角洲低渗透储层宏观、微观、渗流非均质性,研究不同开发阶段储层流动单元的宏观、微观、渗流及物理模拟参数动态演化规律、演化机理,从而揭示三角洲低渗透储层宏观剩余油、微观剩余油形成分布的关系。该书系统地论述了三角洲低渗透储层油藏动态建模的思路及理论方法。希望本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,推动我国石油工业的快速发展。

本书在编写过程中得到叶连俊院士及信荃麟、刘泽容教授的悉心指导并提出了修改意见。中原油田地质科学院的毛立华等为本书提供了大量基础资料,给予了很大帮助,借此机会表示感谢。

由于笔者水平有限,书中不当之处,欢迎专家和同行批评指正。

目 录

绪论	(1)
第一章 濮城油田石油地质特征	(7)
第一节 区域及油田地质背景	(7)
第二节 濮城油田石油地质特征	(20)
第二章 储层宏观非均质模式	(24)
第一节 储层宏观特征	(24)
第二节 储层非均质模式研究	(25)
第三章 流动单元静态模型	(33)
第一节 流动单元识别标志	(33)
第二节 流动单元单井模型	(34)
第三节 流动单元剖面模型	(43)
第四节 流动单元平面模型	(46)
第四章 流动单元微观动态模型	(47)
第一节 流动单元微观动态模型研究流程及参数选择	(47)
第二节 流动单元微观动态模型	(50)
第三节 流动单元微观参数变化机理	(62)
第五章 三角洲低渗透储层流动单元渗流参数动态模型	(63)
第一节 流动单元渗流参数获取原理和方法	(63)
第二节 渗流参数动态模型	(68)
第三节 渗流参数变化机理	(74)
第六章 三角洲低渗透储层流动单元四维模型	(75)
第一节 四维建模技术研究现状	(75)
第二节 神经网络建模原理和方法	(81)
第三节 濮城油田流动单元四维模型	(96)
第七章 流动单元仿真模型	(99)
第一节 技术原理和建立方法	(99)
第二节 流动单元开发过程微观仿真模拟	(107)
第八章 三角洲低渗透储层流动单元剩余油分布模式	(111)
第一节 宏观剩余油分布模式	(111)
第二节 微观剩余油分布模式	(113)
第三节 微观剩余油控制因素分析	(116)
第四节 微观剩余油形成机制	(118)
参考文献	(123)

绪 论

油气田勘探开发的实践表明,勘探开发的关键在于对油气藏的认识是否符合地下地质情况。这就要求石油科技工作者尽可能掌握油气田的各种参数及其分布规律,建立符合地质规律和油气藏非均质性的储层地质模型,从而指导油气田的勘探与开发,提高勘探的成功率和开发的采收率。大量研究表明,仅靠二次采油平均采收率约为 35% 左右,估计仍有 20% 左右的可动油是由于储层的非均质性而未被注入水波及,而这部分可动油可以通过深化对储层非均质性的认识、改善采油技术开采出来。由于东部油田勘探程度高,寻找后备储量的难度越来越大。因此进一步提高老油田的采收率,其经济效益比在老区勘探的效益还要高,但这要求我们必须搞清楚剩余油的分布。流动单元研究正是在这种情况下发展起来的。

随着石油工业的发展,提高原油采收率的研究显得越来越重要。其原因在于,对于大多数勘探程度高的地区发现新油田已是非常困难,只有通过提高采收率来满足石油开发的要求。因此对储层描述的要求日益从宏观向微观、从定性向定量发展。这一发展过程主要体现在储层地质模型的研究上,储层地质由宏观向微观越来越精细,按其规律由大到小可分为三级(Si-at R. M., 1990):沉积模型、地层模型和流动单元模型。流动单元研究是未来油藏表征的关键和最基本单位,可为认识油藏的非均质性提供有效手段,因此开展流动单元研究,搞清剩余油的分布,不仅具有重要的理论意义,而且具有重要的现实意义。

流动单元模型考虑了油藏内所有影响流体流动的地质和石油物性因素,根据岩心的孔隙度、渗透率、颗粒大小分析、毛细管力曲线和岩心描述资料,特别是渗透率的大小建立流动单元,这些流动单元可以穿过不同的沉积层。利用流动单元模型可以对油藏进行综合描述,也可以把流动单元模型应用到油藏模拟中,提高油气田的开发和管理水平。因此通过流动单元的研究阐明储层的宏观和微观特性、不断地揭示控制和影响水驱油效果的地质特征,是二、三次采油方法选择的关键。

由于开发过程中对油藏内流体流动的干扰,尤其是在注水开发和注气开发的油田中,各种流体的相互作用,使得储层的物性不仅在空间上有变化,而且随着开发的深入,其物性和流体分布也在不断地变化。为了能够更精确地表征这一变化,必须建立起四维的储层流动单元模型,并对现有资料进行深入的分析,建立起油藏的仿真模型,通过仿真模拟,再现油藏开发过程,这对理解剩余油的形成,总结剩余油分布规律,具有重要的意义。

本书采用多学科的理论为指导,充分应用地质和测井资料及油田开发动静态资料和数据,研究濮城油田沙二段辫状河三角洲和湖泊三角洲储层流动单元静态、动态地质模型和仿真模型以揭示濮城油田沙二段辫状河三角洲和湖泊三角洲储层流动单元的几何形态、空间展布与剩余油形成机理和富集分布规律,指导油田开发,改善开发效果,提高最终油气采收率。

一、流动单元四维模型研究现状

自 1984 年 C. L. Hearn 提出流动单元的概念以来,很多学者应用这一概念开展了油气藏地质表征研究。不同学者对流动单元概念有不同理解,并根据自己的理解对流动单元概念进行定义。Hearn 最早提出的流动单元的概念为:垂向上及侧向上连续,并具有相似的渗透率、孔

隙度及层面特征的储集带。后来 W. J. Ebanks 于 1987 年对流动单元又做了进一步阐述,认为流动单元是垂向上及侧向上连续并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(1993)等则认为流动单元是给定岩石中水力特征相似的层段。裘亦楠认为流动单元是指由于储集层非均质性的隔挡及窜流旁通条件,使得注入水沿着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、不连续的薄的隔挡层、各种沉积微界面、小断层及渗透率差异等因素造成的渗透特征相同、水淹特征一致的储集单元。焦养泉认为流动单元是指沉积体系的内部按地下水水力条件进一步划分的建筑块体。

1. 流动单元的主要特征

流动单元的基本特征是流动单元识别的基础,根据流动单元的基本概念,流动单元的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间常常以不连续薄隔挡层、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流动单元必须有一定的空间分布范围,也就是说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。达不到一定厚度的界面或没有一定延展范围的地质体,不能看作单独的流动单元,这很重要,否则将使流动单元研究失去意义。

③不同区块、不同层位、不同开发阶段的流动单元有各自特征规律和区别。

④流动单元研究中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,故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、构造作用等某种作用形成的储集体,也可以是这些地质作用复合和联合而形成的储集复合体。流动单元界面不一定具有等时性,可以是穿时界面,这就避免了小层划分时必须考虑等时界面的问题,从而使流动单元适用于油田开发中。

⑥流动单元的岩石物性特征、渗流特征及空间分布随油田注水开发过程中的油藏开发动力地质作用而发生变化,因而在识别和区分评价流动单元时应深入研究油藏开发动力地质作用,考虑开发动态的影响,使流动单元识别、划分和评价更为合理。

根据具体的地质条件和实际资料的限制及研究问题的出发点差异,流动单元划分方法基本分为定性和定量两类。

2. 流动单元定性研究

1) 标志层或沉积相法

Rodriguez 和 Maravens(1988)认为流动单元的划分有两种方法,一是用区域上稳定发育的泥岩进行划分,另一种方法是用相带或相组合来划分。他们倾向后者,并给出了划分流程。

Sillseth 等(1993)在研究流动单元对水驱动态模拟的影响时构筑了一个面积 25km^2 、厚 25m 的滨外沙坝人造模型,这个模型由五个横向上连续的相组成,每个相带又划分为 13 个成因相,每个成因相即为一个流动单元。

2) 沉积、成岩、构造作用综合法

采用该方法主要考虑两个方面,一是考虑陆相储层地质界面的复杂性,重点研究沉积相带本身的分布及相带间渗流屏障的分布;二是考虑沉积相带内地质参数的差异性造成储层质量

的差异性。因此首先运用高分辨率层序地层学建立等时地层格架和渗流屏障,之后开展成岩作用和储集相研究,并分析断层封闭性对井间渗流的影响,以确定砂体内部的胶结屏障及封闭性断层屏障。在此基础上,开展砂体内储层质量差异研究,综合应用反映岩性、流体渗流能力和储集能力的参数进行分类分区评价,确定流动单元的空间分布(吴胜和,1999)。

从所查阅的文献来看,目前国内外的流动单元划分方法主要有四种,即精细沉积学法、岩石物性参数交汇图法、岩石组构描述法及孔隙几何形状法、动态流动单元法。精细沉积学法定量化程度低,应用范围受限,并且相当一部分研究工作依赖于地质专家的个人经验,不便于广泛推广;岩石物性参数交汇图法的理论与方法还需作进一步深入研究,这种方法的主要问题在于针对复杂沉积相带储层划分比较粗,不同流动单元之间没有一个很清晰而且有强说服力的界限,有时甚至不如从沉积微相角度的研究精细;岩石组构描述法及孔隙几何形状法研究内容多且较为复杂,目前尚处于探索阶段;动态流动单元法及生产动态资料法的研究方法还不完全成熟,主要的问题在于动态资料的录取和采集过程中,人为因素的影响还很大。

另外还有其他的一些方法,在此不一一赘述。总之,这些是基于取心井段沉积特征详细研究的一类方法。

3. 流动单元定量研究

1) 孔隙几何形状分析法

采用该方法的依据是孔隙大小分布是控制流体流动的条件,特别是较粗孔喉对流体流动条件起重要控制作用。研究表明,压汞曲线上进汞达到 35% 时的孔喉半径 R_{35} 的大小反映岩石中流体流动和开发动态(Hartmana&Coalson,1990)。在有压汞曲线时直接用压汞资料求取 R_{35} ,在没有压汞资料的井可以采用 Winland 方程根据岩心物性分析和测井曲线储层参数解释结果计算 R_{35} 值,Winland 方程为:

$$\text{Log}R_{35} = 0.0732 + 0.588 \times \text{Log}K - 0.864 \times \text{Log}\phi$$

据此,把储层分为五种流动单元:

极粗孔喉型: $R_{35} > 10\mu\text{m}$;

粗孔喉型: $2\mu\text{m} < R_{35} < 10\mu\text{m}$;

中孔喉型: $0.5\mu\text{m} < R_{35} < 2\mu\text{m}$;

细孔喉型: $0.1\mu\text{m} < R_{35} < 0.5\mu\text{m}$;

极细孔喉型: $R_{35} < 0.1\mu\text{m}$ 。

应该指出的是在孔隙系统中存在连通的次生孔隙时, R_{35} 往往估计过大。

2) 基于 Kozeny - Carman 方程的定量方法

孔隙几何形状受矿物成分和结构的控制。这些地质特征的不同组合,直接导致岩石流动单元具有相似流体流动性质。所以,一个流动单元可得出不同岩相类型,这依赖于他们沉积结构和成分量的大小。Kozeny 和 Carman 从孔隙几何相的理论出发,利用平均水力半径的概念,应用 Poisseuille 和 Darcy 定律推导出孔隙度、渗透率之间的关系式(即 Kozeny - Carman 方程):

$$K = \frac{\phi_e^3}{(1 - \phi_e)^2} \frac{1}{F_s \tau^2 S_{gv}}$$

式中 K ——渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$;

ϕ_e ——有效孔隙度,小数;

F_s ——孔隙形状系数;

S_{gv} ——单位颗粒体积的表面积;

τ ——孔隙介质的迂曲度。

$F_s \tau^2$ 习惯上称为 Kozeny 系数, 对大多数储集层岩石来说, 通常介于 5 和 100 之间。 $F_s \tau^2 S_{gv}$ 是一个关于多孔介质的地质特征的函数, 随孔隙性质变化而变化。为了有效应用 Kozeny - Carman 方程, 必须把它转换成直线方程:

$$0.0314 \sqrt{\frac{K}{\phi_e}} = \frac{\phi_e}{1 - \phi_e} \frac{1}{\sqrt{F_s \tau S_{gv}}}$$

据此定义如下参数。

储层质量指数:

$$RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{K}{\phi_e}}$$

标准化孔隙度指数 (即孔隙体积与颗粒体积之比):

$$\phi_z = \frac{\phi_e}{1 - \phi_e}$$

流动带指数:

$$FZI = \frac{1}{\sqrt{F_s \tau S_{gv}}} = \frac{RQI}{\phi_z}$$

上式说明 FZI 是把结构和矿物地质特征、孔喉特征结合起来判定孔隙几何相的一个参数, 可准确地描述油藏的非均质特征。将上式两边取对数得:

$$\log(RQI) = \log(\phi_z) + \log(FZI)$$

该式表明在 RQI 与 ϕ_z 的双对数关系图上, 具有相同 FZI 值的样品将落在同一直线上, 具有不同 FZI 的样品落在一组平行直线上, 同一直线上的样品具有相似的孔喉特征, 归属同一流动单元。

对一个 FZI , 如果 FZI 对所有样品点是常数, 在双对数图像中代表的数据更有用。因为斜线单元可以更容易地区分。具有相似但不完全相同的 FZI 值数据点将位于具有平均 FZI 值的简单单位斜直线周围。具有不同 FZI 样品点将位于其他平行的单位斜线上。每一条线是一个水力学单元具有相关的平均 FZI 值。平均 FZI 值就是单位斜线坐标 $\phi_z = 1$ 时的截距。关于直线上数据的分布, 要考虑到在取心井数据分析中的错误和一些小的波动。这些小波动主要由地质控制的样品岩石的隙间喉道特征形成。

用作图法和聚类分析的方法可以把样品分成具有不同特征的流动单元, 这就是用岩石物理参数定量划分流动单元的理论基础。

二、流动单元四维模型的主要研究内容

为了研究和揭示东濮凹陷濮城油田沙二上亚段辫状河三角洲和沙二下亚段湖泊三角洲储层流动单元的识别、划分、评价原则、流动单元的时空分布及流动单元内油藏开发流体动力地质作用与油气水的关系, 研究中以沉积岩石学、储层地质学、石油地质学、测井地质学、层序地层学、油层物理学等理论为指导, 综合应用地质、测井、油藏工程等多种信息和计算机手段, 定性和定量相结合, 动静态相结合, 一维、二维、三维和四维相结合, 从井到剖面再到平面, 从宏观到微观, 研究和探讨了濮城油田沙二上亚段辫状河三角洲和沙二下亚段湖泊三角洲两种成因类型储层流动单元的几何形态、时空展布规律及其宏观、微观剩余油形成富集的关系。

通过岩心分析获得大量有关储层岩性、物性、渗流特征、宏观、微观等多种参数。运用高分

分辨率层序地层学建立等时地层格架和渗流屏障(常见的隔挡层有泥岩隔挡层、钙质隔挡层、胶结带隔挡层以及封闭性断层隔挡层等)及确定砂体的连通状况;开展成岩作用和储集相研究,在连通砂体内分析储层物性差异。根据岩石物理相类型,确定储层质量,应用判别分析,建立濮城油田沙二段辫状河三角洲和湖泊三角洲两种成因类型储层流动单元的判别函数,划分出流动单元。在完成各井流动单元的划分与判别之后,展开流动单元之间的井间对比;建立濮城油田沙二段两种成因类型储层流动单元的分布模型以及分析其流动单元与地下流体渗流和水驱规律之间的关系,揭示濮城油田沙二段辫状河三角洲和湖泊三角洲两种成因类型储层流动单元之间的地质差异和渗流差异的形成机理;建立濮城油田沙二段辫状河三角洲和湖泊三角洲两种成因类型储层流动单元静态模型、微观网络模型、四维模型,揭示油气渗流特征、渗流机理和油气富集规律,确立一套陆相储层流动单元研究划分评价的方法和配套技术,指导油田开发。研究流程如图1。

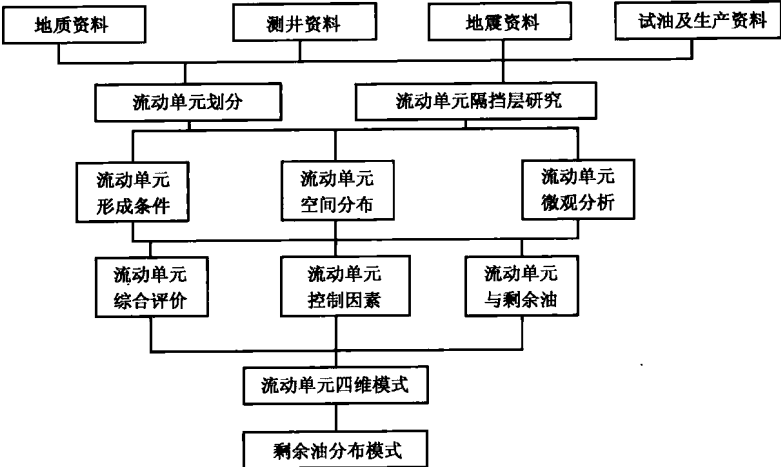


图1 流动单元四维模型研究流程

流动单元四维模型研究是以综合应用沉积学、储层地质学、石油地质学、测井地质学、油层物理学等多学科的理论为指导,运用层序地层学及测井地质学的新概念、新方法和新技术,系统深入研究濮城油田沙二段辫状河三角洲和湖泊三角洲储层流动单元的识别、划分、评价的方法,建立濮城油田沙二段辫状河三角洲和湖泊三角洲流动单元的静态模型、仿真模型与剩余油分布富集规律,建立濮城油田沙二段辫状河三角洲和湖泊三角洲流动单元研究、描述、表征和预测的配套理论和方法技术,指导油田开发,发展陆相断陷湖盆开发地质学的理论和方法。

三、流动单元四维模型研究特色

- ①确定了濮城油田沙二段辫状河三角洲和湖泊三角洲流动单元划分参数、识别、分类参数,形成了流动单元分类评价标准,在此基础上将该区的储层划分为四类流动单元;
- ②建立了流动单元静态模型(井模型、剖面模型和平面模型),分析了各小层的流动单元组合特征及平面展布规律;
- ③建立了流动单元微观骨架模型、网络模型、粘土模型、渗流场模型,揭示了在开发历程中各种微观参数的动态变化规律;
- ④依据神经网络算法,进行了储层流动单元计算机模拟,揭示了储层宏观参数特征的四维时、空间演化规律;

⑤建立了储层流动单元仿真模型,通过对岩心薄片的图像识别和微观驱油过程的仿真模拟,再现了油田开发过程,揭示了储层中油水渗流规律及微观剩余油分布规律和形成机理。

⑥结合流动单元平面组合关系,总结了剩余油宏观分布模式,认为剩余油主要富集在注入水波及较差的差流动单元区、微构造高部位及控油断层封闭性较强的地区;

⑦通过仿真模拟和对水驱薄片的观察分析,总结了 A、B、C 三大类 9 小类微观剩余油分布模式;

⑧形成了濮城油田两种成因类型储层流动单元研究、描述、表征和预测的配套理论和方法技术,发展了陆相断陷湖盆开发地质学的理论和方法。

第一章 濮城油田石油地质特征

第一节 区域及油田地质背景

濮城油田地处河南省范县和濮阳县境内,属黄河冲积平原,地势平坦,交通便利。区域构造位于东濮凹陷中央隆起带北部,是一个被断层复杂化的长轴背斜,整个构造发育 NNE 和近 EW 向两组断层,其中二级、三级和四级断层共 80 多条,将濮城油田主体划分为东、西、南三个开发区 24 个开发单元(图 1—1)。濮城油田分为沙一段、沙二上亚段、沙二下亚段、沙三上亚段、沙三中亚段、沙三下亚段、沙四段七套开发层系。

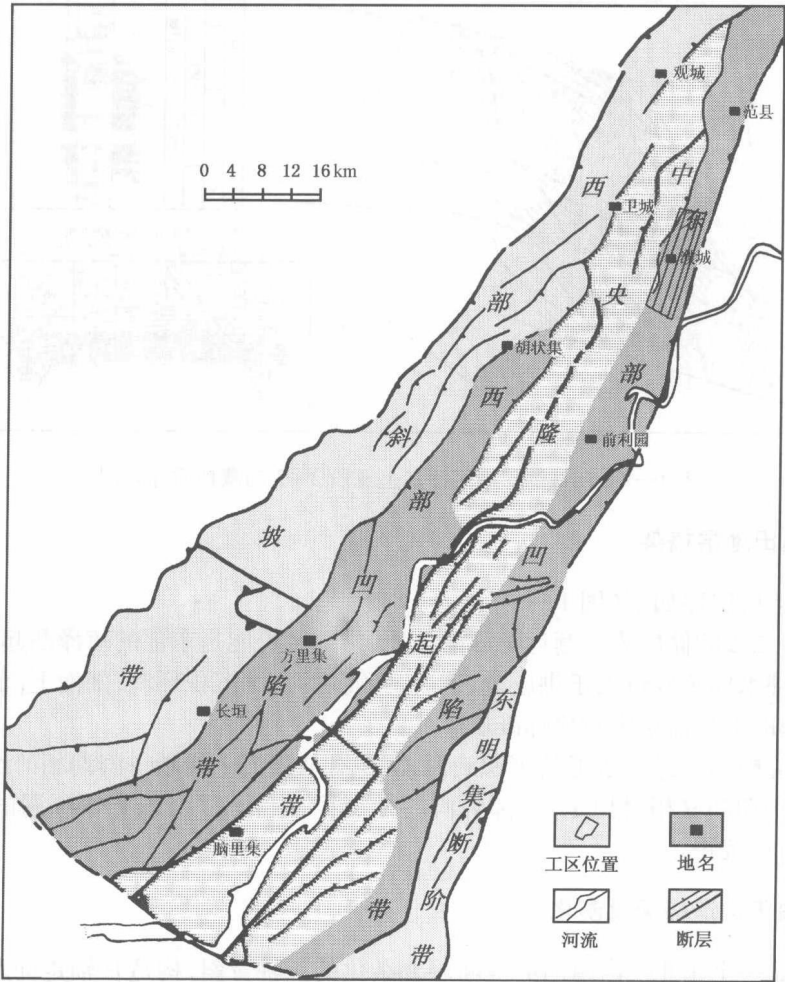
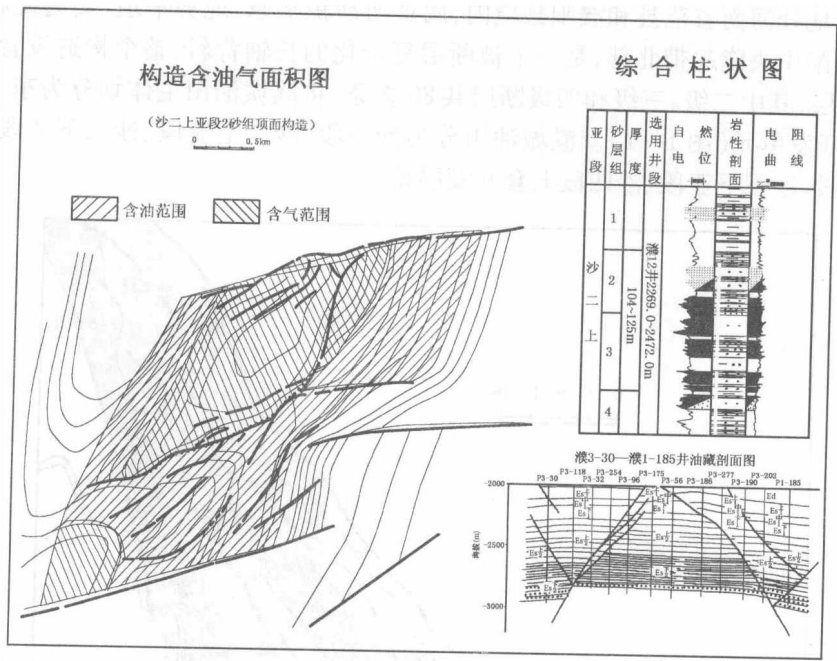


图 1—1 濮城油田位置图

濮城油田南区沙二段油藏位于濮城构造南端,北以濮 14 断层为界,西与文 51 块相接,东靠濮 19 断层,南以濮 24 断层为界,南北长约 6km,东西宽约 2.5km,构造面积近 15km²。南区沙二下亚段石油地质储量为 1261 × 10⁴t,其中沙二下亚段 1~5 层含油面积 7.8km²,石油地质储量 1041 × 10⁴t,为主力含油层系;沙二下亚段 6~8 层含油面积 2.7km²,石油地质储量 220 × 10⁴t。濮城油田南区沙二上亚段 2+3 油藏动用含油面积 5.84km²,动用地质储量 1298 × 10⁴t,平均有效厚度 21.9m,标定采收率 31.20%,可采储量 405 × 10⁴t。油藏中深 -2400m,油气界面深度 -2350m,油水界面深度 -2440m,原始地层压力 23.48MPa,饱和压力 20.47 MPa,压力系数 1,原始油层温度 86℃,原始油气比 174m³/t,该油气藏是一个被断块复杂化的带有气顶的断块构造油气藏。濮 53 块和濮 12 块为含油富集块(图 1—2)。



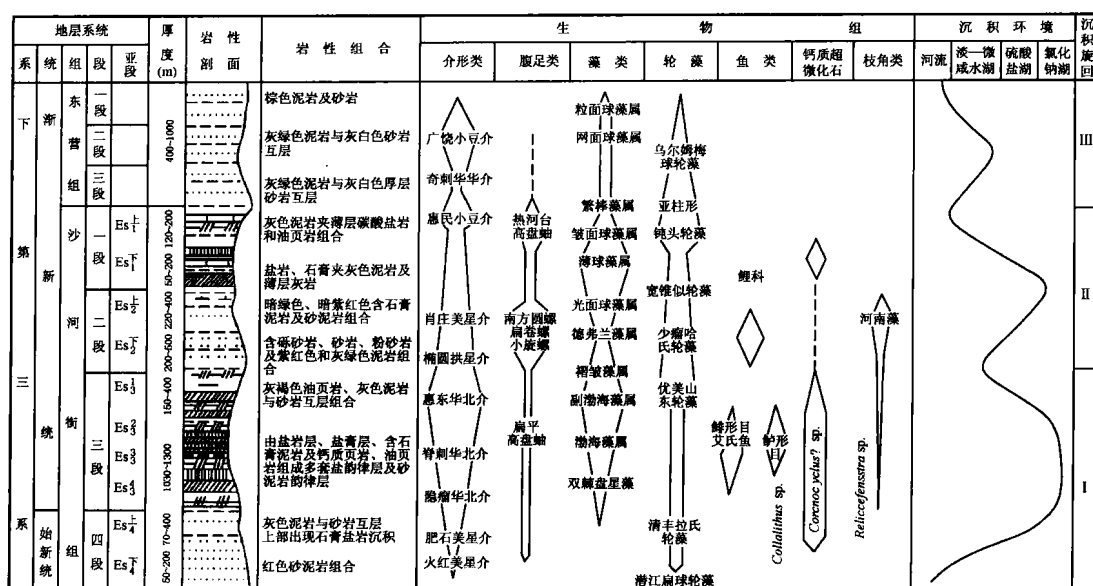


图 1—3 东濮凹陷早第三纪地层及沉积综合柱状图

表 1—1 濮城构造要素统计表

层位	东翼	西翼	北端	隆起幅度(m)	备注
沙一段底	5.9°	6.7°	1.2°	230	隆起幅度以 濮城构造下降 盘的向斜轴 部为基准
沙二上亚段	6.3°	7.0°	2.0°	290	
沙二下亚段	9.0°	2.5°	3.4°	500	
沙三上亚段	11.3°	12.5°	4.2°	580	
沙三中亚段	14.7°	14.0°		800	
沙三下亚段	19.0°				

1. 濮城油田断裂体

濮城油田有大小断层 80 余条。从断层的平面分布看,可以分为两组方向,即濮 14 断层以北的北北东向断层组和濮 14 断层以南的近东西向断层组。就断层发育次序和对构造影响关系看,北部断层可分为四段,南部断层可分为三段。主要断层 11 条,即濮 25、濮城南端断层、濮 31、濮 46、濮 49、濮 4、濮 3-73、濮 14、濮 12、文 17、濮 24 断层。

1) 北北东向断裂体分布规律

发育分布在研究区北部,主要断层为濮 25、濮 31、濮 46、濮 49、濮 4、濮 3-73 等 6 条断层。一级断层为西掉的濮 25 同生大断层,断层延伸长,呈座椅状,断层具有下大上小的特征,对濮城构造北部的形成与发展有控制作用。二级断层为沙二末期到沙一早期形成的濮 31、濮 46、濮 49 等西掉断层,是濮 25 一级断层向上分叉次一级断裂,在平面上呈雁行式排列,近似平行于濮 25 大断层。在剖面上向下收敛,向上撒开,与濮 25 大断层构成帚状断层系列。三级断层为沙二末期到沙一早期形成的东掉濮 4、濮 3-73 断层,在平面上平行于西掉断层,剖面上与西掉断层构成“Y”字型断裂系统。四级断层为断块区内的小断层(图 1—5)。

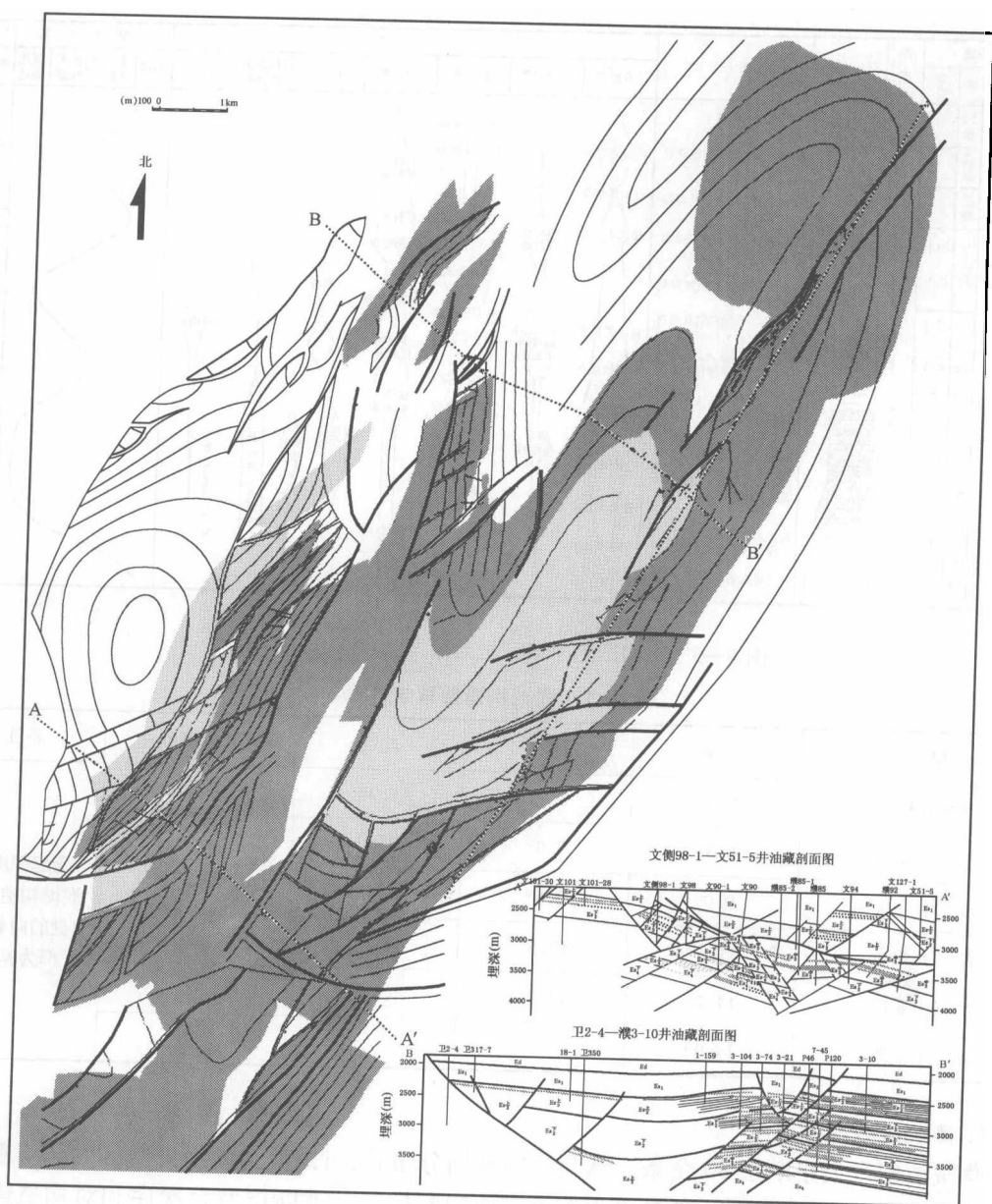


图 1—4 濮城油田构造图

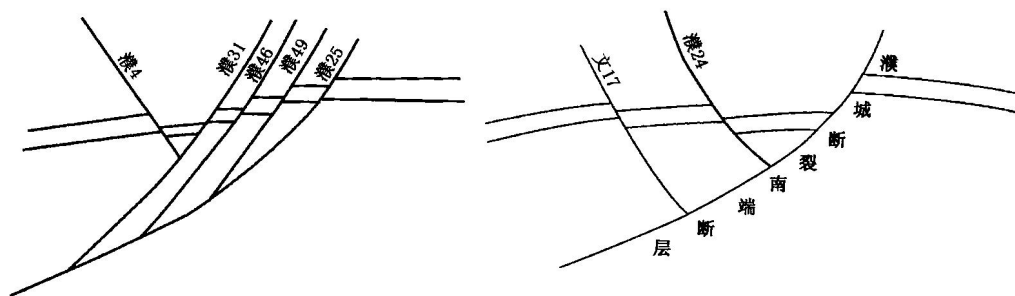


图 1—5 断层相互关系

2) 近东西向断裂体系分布规律

多发育分布在南区,主要断层为濮城南端断层、濮 14、濮 12、文 17、濮 24 断层。一级断层为濮城南端断层,走向为北北东,与濮 25 断层相当。二级断层为北掉的濮 14 断层及近于南掉的文 17、濮 24 和东掉的濮 12 断层,与濮城断裂的南端断层成斜交关系(图 1—5)。

三级断层为各块区内的小断层。以上两组断层特征,构成了整个濮城构造的断层特征。

3) 南区断层体系分布规律

濮城油田南区沙二下亚段油藏控制流体运动分布的主要断层有 4 条(濮 14、文 17、濮 24、濮 12 断层)。另有 9 条小断层,断距一般小于 20m,延伸长度多小于 1km(图 1—6)。主要断层特征描述如下。

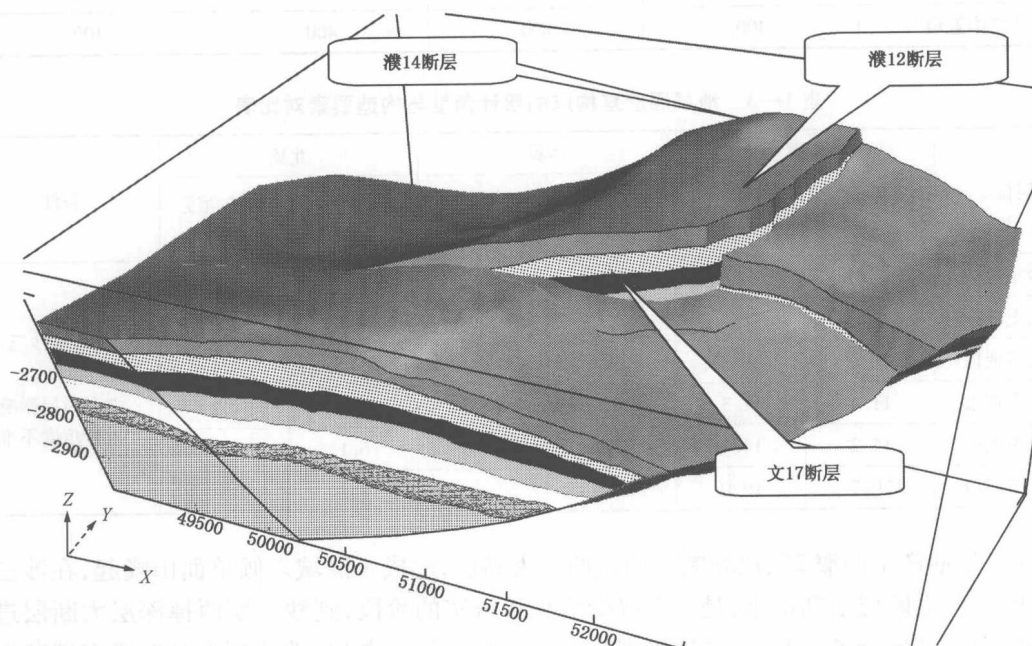


图 1—6 濮城油田南区沙二下亚段断层分布面

濮 24 断层:位于濮城背斜构造南端,走向北东东,倾向南南东,倾角 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$,断距一般为 50 ~ 120m,延伸长度约 3.5km。濮 24 断层整体呈座椅状,下切到濮 19 断层上,钻遇井 48 口,为南区沙二下亚段油藏南边界控制断层。

濮 14 断层:走向北东东,倾向北北西,倾角 $35^{\circ} \sim 60^{\circ}$,断层落差 30 ~ 100m,向两端减小,平面延伸长度约 2.8km,断层产生于 E_{s2}^F ,结束于 E_{s1} 末期。

文 17 断层:发育于濮 14 断层和濮 24 断层之间,与濮 12 断层相连。由南向北走向北东向转北北东向,呈弧形展布,倾向南东,倾角 $35^{\circ} \sim 65^{\circ}$,断距一般为 30 ~ 100m,延伸长度约 2.5km,断距中段大,向两端变小,向南延伸至文 51 - 44 井附近消失,向东延伸到濮 19 断层上。产生于沙二上亚段,结束于东营组,对南区油藏的油气水分布和油气富集起重要作用。

濮 12 断层:钻遇井 29 口,断层走向北北东,倾向南东东,倾角 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$,落差一般为 20 ~ 60m,向南北方向分别与文 17 断层、濮 14 断层相交,平面延伸长度为 1.5km。

2. 构造演化史

濮城构造是一个被断层复杂化的披盖构造。具有地层分布构造顶部薄、翼部厚