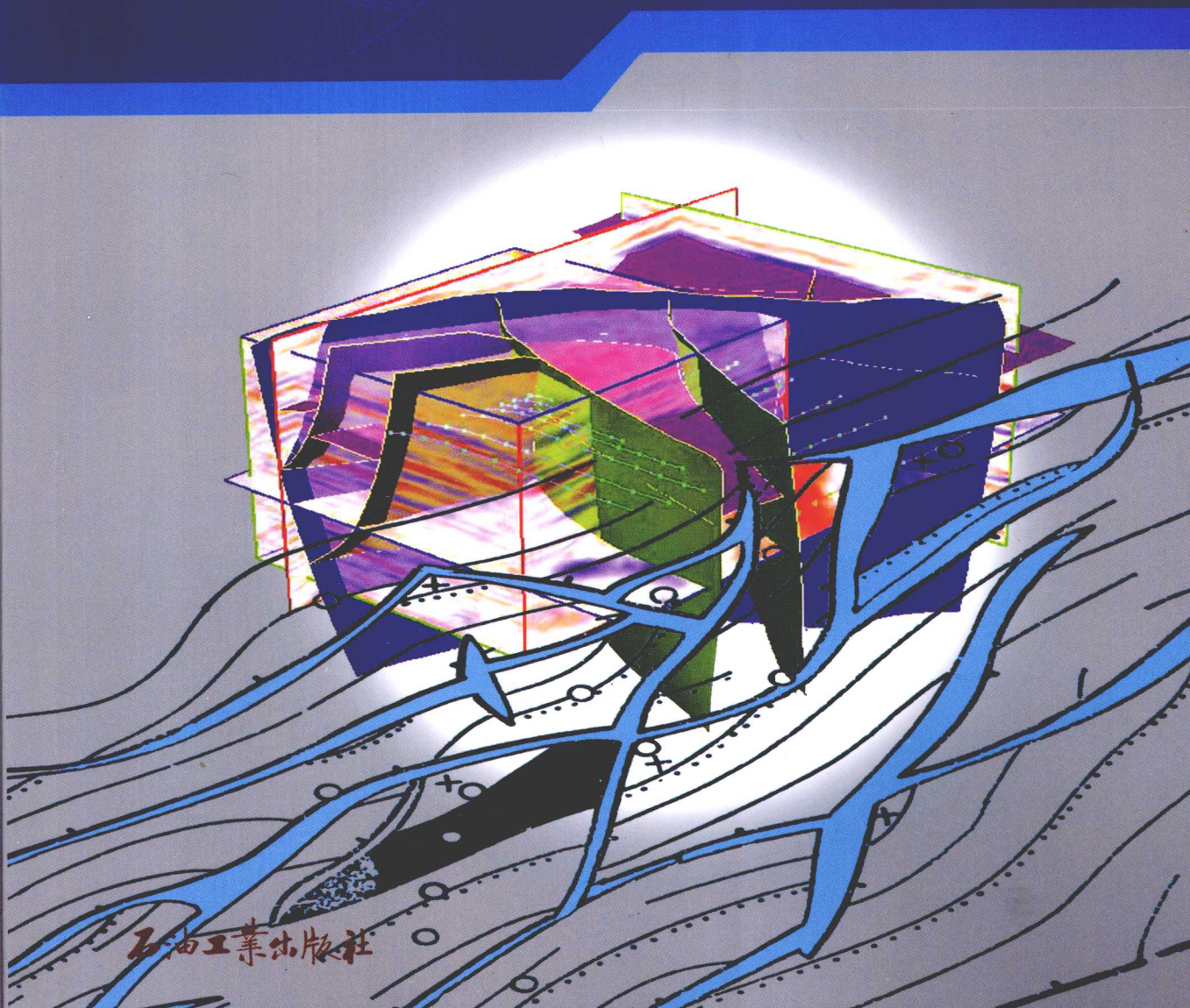


刘伟◎著

复杂断块油气藏 成藏机理和剩余油预测

——以濮城油田为例



石油工业出版社

复杂断块油气藏成藏机理和剩余油预测

——以濮城油田为例

刘 伟 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书综合利用多学科的理论和方法技术,充分应用计算机技术和手段,研究了濮城油田南区末端扇储层沉积模型及储层非均质模型,并结合控油断层封闭开启模式、四维应力场模型和油藏流体势场模型、成藏要素及油气运聚特征分析,建立了复杂断块油藏成藏模式,进一步揭示了剩余油控制因素,阐明了剩余油的分布规律。

本书可供油田开发工作者及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

复杂断块油气藏成藏机理和剩余油预测/刘伟著.

北京:石油工业出版社,2009.12

ISBN 978-7-5021-7386-9

I. 复…

II. 刘…

III. ① 复杂地层-断层油气藏-形成-研究

② 复杂地层-断层油气藏-残余油饱和度-研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 165996 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:<http://www.petropub.com.cn>

编辑部:(010)64523539 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技有限公司

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:10.75

字数:274 千字 印数:1—1000 册

定价:52.00 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

前 言

东濮凹陷是中原油气勘探、开发的重要基地,历经近 30 年的勘探和开发历史,目前勘探开发程度已趋高成熟阶段。如何增储上产,是当前中原油田勘探开发的重要课题。因此,本书以濮城油田南区为例,深入研究油藏地质特征,正确认识油气成藏规律,并以精细表征储层特征为基础,对高成熟开发区块开展剩余油研究,对老油区的滚动勘探开发和剩余油挖潜具有重要意义。

本书共分八章。第一章主要介绍伸展盆地内油气成藏机理研究现状及剩余油研究现状、主要内容及本研究的特色与创新之处。第二章介绍濮城油田南区石油地质概况,包括发育地层、构造格架、油气藏类型及勘探开发历程等。第三章以末端相标准模式为指导,阐述濮城油田南区末端相微相类型及分布规律,分析储层孔隙结构,并揭示了储集物性的影响因素。第四章详细阐述末端扇储层的非均质性,重点揭示了隔夹层类型和空间分布规律。第五章论述了控油断层封闭开启性的研究原理和方法,结合濮城油田南区控油断层活动性分析,建立了控油断层封闭开启模式。第六章建立了濮城油田南区沙二期、东营期至现今四维应力场模型和油藏流体势场模型,分析了地应力对油气分布的影响。第七章阐明研究区成藏要素及输导体系,通过分析油气运聚史,建立了油气成藏模式。第八章论述了濮城油田南区低渗透复杂断块油藏的剩余油形成机理和主控因素,预测了剩余油分布。

本书是参与东濮凹陷濮城油田南区勘探开发的广大技术人员集体智慧的结晶。在本书编写过程中得到石油大学徐怀民教授的悉心指导,石油大学蒋有录教授、青岛海洋大学张金亮教授等提供了大量资料,并给予了很大帮助。此外,中原油田采油二厂地质科研人员也付出了辛勤的劳动,在此表示衷心感谢。

由于笔者水平有限,书中不当之处,恳请读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
一、研究的目的和意义	(1)
二、国内外研究现状	(1)
三、主要研究内容和难点	(5)
四、本书的特色和创新	(5)
第二章 濮城油田南区石油地质概况	(7)
一、濮城油田地层格架	(7)
二、濮城油田构造格架	(10)
三、濮城油田油气藏类型和分布规律	(17)
四、濮城油田南区勘探开发历程概述	(18)
第三章 濮城油田南区沙二上亚段储层沉积模式	(22)
一、末端扇相的内涵	(22)
二、濮城油田南区沙二上亚段储层沉积相、微相类型和分布	(23)
三、濮城油田南区沙二上亚段储层沉积相模式	(38)
四、濮城油田南区沙二上亚段储层孔隙类型和孔隙结构	(40)
五、濮城油田南区沙二上亚段储层物性主控因素	(45)
第四章 濮城油田南区沙二上亚段储层非均质性研究	(53)
一、储层非均质性的概念	(53)
二、储层非均质性研究的原理和方法技术	(54)
三、濮城油田南区沙二上亚段隔夹层类型和空间分布规律	(55)
四、濮城油田南区沙二上亚段储层非均质性研究	(67)
第五章 濮城油田南区低渗透复杂断块油藏控油断层封闭开启模式	(80)
一、控油断层封闭开启性的内涵	(80)
二、控油断层封闭开启性研究的原理和方法	(80)
三、濮城油田南区控油断层封闭开启性的主控因素	(84)
四、濮城油田南区控油断层活动性分析	(86)
五、濮城油田南区控油断层封闭开启模式	(90)
第六章 濮城油田南区复杂断块应力场和流体势场演化	(93)
一、应力场研究的原理和方法技术	(93)
二、濮城油田南区应力场参数优选	(94)
三、濮城油田南区沙二上亚段 2 + 3 油藏应力场数学模型	(98)
四、濮城油田南区沙二上亚段 2 + 3 油藏应力场演化规律	(99)

五、濮城油田南区沙二上亚段 2 + 3 油藏流体势场演化与油气分布	(107)
第七章 濮城油田南区油气成藏机理和成藏模式	(119)
一、烃源岩特征与油源对比	(119)
二、输导体系及油气运移方向研究	(122)
三、油气运聚史分析	(125)
四、油气成藏模式	(133)
第八章 濮城油田南区低渗透复杂断块油藏剩余油预测	(140)
一、剩余油的内涵	(140)
二、剩余油研究的主要原理和方法技术	(140)
三、濮城油田南区低渗透复杂断块油藏剩余油形成机理和主控因素	(142)
四、濮城油田南区低渗透复杂断块油藏储层参数空间分布规律	(153)
五、濮城油田南区低渗透复杂断块油藏剩余油饱和度预测	(157)
六、濮城油田南区低渗透复杂断块油藏剩余油储量丰度预测	(161)
参考文献	(164)

第一章 绪 论

一、研究的目的是意义

东濮凹陷是中原油气勘探、开发的重要基地,自 1975 年濮参 1 井喜喷高产油气流以来,历经 28 年的勘探和开发历史,已发现 19 个油气田。目前已进入高勘探程度阶段,大型和高产油气圈闭大部分已被发现,至今勘探开始向深层、小规模、复杂小幅度隐蔽油藏的方向发展,勘探对象复杂,难度显著增大。同时,已开发油田处于高成熟开发阶段,开发难度渐增。因此,深入开展油藏地质特征研究,正确认识油气成藏规律,并精细表征储层特征,进一步揭示已开发油藏的剩余油分布规律,对老油区滚动勘探开发和剩余油挖潜具有重要意义。

油藏构造研究是石油地质学的重要研究内容,特别是东濮凹陷这样地应力复杂和复杂断块极为发育分布的地区,油气成藏和富集主要受构造的控制。多年以来,在油气勘探开发中注重对局部油藏构造的精细解释和预测,而从宏观、微观、三维、四维整体出发,系统研究揭示整体构造的四维应力场、流体运移势场特征、分布和演化及油气聚集规律,预测油藏方面尚需深化。

自 20 世纪 90 年代以来,国际上对伸展盆地、挤压盆地、反转盆地构造及构造对油气生成、富集、成藏的控制作用的研究获得了长足进展。针对东濮凹陷已进入勘探高成熟阶段,以濮城油田南区沙二段上亚段 2+3 砂层组(简称为沙二上亚段 2+3)低渗透复杂断块油藏为例,将四维应力场、流体运移势场的理论和方法与濮城复杂断块区丰富的地质、地震、测井和油藏工程等资料信息和勘探开发成果相结合,从整体上系统、动态地研究解释濮城油田南区沙二上亚段 2+3 低渗透复杂断块油藏模型与四维应力场、四维流体运移势场的形成演化,及其对原始油藏和剩余油形成的控制作用,不仅能够有效指导油气田勘探开发,还能丰富陆相断陷盆地油气开发地质学理论和方法,具有重要的理论意义。

二、国内外研究现状

(一)国内外伸展盆地研究现状

我国伸展盆地构造研究是伴随东部油气田勘探开发深化发展的,在 20 世纪 80 年代达到高潮。随着我国改革开放和渤海湾、松辽两大含油气盆地勘探的进展,我国石油地质工作者们积极引进国外先进地质理论,如板块构造等,并与我国实际相结合,探索陆相伸展盆地构造和油气成藏理论。著名地质专家朱夏、关士聪、马杏垣、陈国达、李德生、陈发景、田在艺、赵重远、童崇光、王尚文、陆克政、王燮培等从不同角度论述了我国东部断陷(裂谷)盆地的地质构造特征、构造动力学、构造格局、构造样式及其与油气聚集成藏的关系,获得重要成果,主要论点至今仍有价值。这时期研究对象主要是盆地尺度,突出盆地的构造格局、成因机制及演化。

20 世纪 90 年代以来,我国油气勘探向西部转移,构造研究主要是中西部前陆盆地及冲断带,东部伸展盆地成果相对较少。

在国际上,自 20 世纪 90 年代以来,伸展盆地构造研究取得长足进展。通过野外露头观测、三维地震资料解释、砂箱物理实验及数字模拟等的研究,除盆地尺度外,在断层发育过程、

组合方式、断层对沉积的控制等方面提出一系列新认识和研究方法,提出变换构造(transfer zone)或调节构造(accommodation zone)的概念。对断裂作用、形成过程、伸展盆地储层控制因素、油气藏形成富集规律认识有重要作用。1990年英国牛津大学地球科学系教授 Philip A. Allen 和英国石油公司专家 John R. Allen 联合出版了《Basin Analysis》(盆地分析)一书,系统介绍了盆地分析原理及在石油地质中的应用。1998年 AAPG 在开罗召开裂谷盆地构造与层序地层综合研究专题研讨会, AAPG 2002 年第 6 期出版专集发表了其中代表性论文。《Basin Research》于 2000 年第 12 期出版“伸展盆地地层发育过程与控制作用”专辑,介绍国际该领域研究新进展,主要是伸展盆地断裂作用、形成演化过程及对沉积中心和地层展布的控制。2002 年英国地质协会编辑了一套《地球科学关键论题系列丛书》,其第二部《伸展构造》系统论述了近 20 年来伸展盆地构造研究进展,有:① 伸展盆地变形机制和热动力作用;② 伸展构造与地层展布;③ 伸展盆地构造反转、隆升剥蚀与超压作用;④ 正断层几何形态与空间展布;⑤ 实验模拟;⑥ 油藏内断层与流体运移。上述文献集中了国际上伸展盆地构造及其与油气关系研究方面的新进展。

近 10 年来我国石油地质工作者紧跟国际构造研究发展方向,结合我国东部油气勘探实践积极发展伸展盆地构造研究,主要研究方向有:① 盆地形成的地球动力学背景,成因机制;② 断层发育、构造样式与变换构造研究;③ 砂箱实验模拟研究。其中在断层形成演化过程、断层封闭性及变换构造研究方面处于积极结合探索阶段,而在伸展构造对沉积的控制作用方面,则刚起步,需进一步加强。

(二) 国内外构造应力场研究现状

地质力学认为地壳各部分发生的一切变形(含破裂),是遭受地应力作用的效应。因此,在发现构造体系和构造型式这些地质构造现象的规律之后,还要寻找厘定这些规律的力学原因,阐明该地块的受力状态及形成这些构造的应力场。

构造应力场的研究方法有野外调查,理论研究和物理、数学模拟实验等。在此仅综述应力场的模拟研究内容。应力场的模拟有如下作用:① 应力场物理、数学模拟,能阐明力学机理,发现新的规律;② 若仅知少数测点应力状态或边界条件时,应力场模拟能表征三维、四维应力场特征及分布演化,并对应力场进行详细分析。

应力场模拟实验分为物理模拟和数值模拟。

早在 20 世纪 30 年代,李四光教授用泥巴、浸湿的软纸来物理模拟地壳在受力下的应力场和变形,模拟各种构造体系和构造型式的应力场。后来,黄汉纯、马宗晋、马瑾、邓起东、黄庆华、孙殿卿、张国铎、钟嘉猷、沈淑敏、曾佐勋等对不同力学条件下的构造样式应力场及断裂作用做了模型试验。深化了对地质现象机理性的认识。国外,格佐夫斯基、别洛乌索夫等做了很多构造物理模拟实验。Ramberg 对重力构造进行了模拟实验,其他一些学者也做了很多模拟实验。

随着计算机的发展和各种应力场计算软件的建立,数值模拟应用广泛。数值模拟能任意调整参数,改变边界条件和加力方式,对各种方案进行模拟计算。

初期数值模拟多用解析法,这种方法成果准确,但对非均匀介质,不规则边界模型很难进行模拟计算。后来发展了有限元法、有限差分法、边界元法、离散元法等方法,使应力场的数值模拟迅速发展。

早期应力场模拟多用在构造体系和构造型式方面。如黄庆华用解析法做了多字型、旋卷构造应力场分析,王维襄做了入字型构造、棋盘格式构造等解析分析,王连捷等做了雁行断裂

等距性的计算、旋卷构造应力场的有限元计算、青藏高原应力场的研究,王仁、沈淑敏等做了华北地区应力场和地震转移的二维有限元模拟。近年来发展到油田应力场的模拟,并由二维发展为三维。谭成轩、王红才等做了油田三维应力场模拟方法的研究。李德同、宋惠珍等进行了三维应力场和裂缝预测模拟研究,殷有泉做了辽河张强凹陷三维应力场有限元模拟。

近十几年来,油田应力场数值模拟获得很快的发展,计算机软件不断更新,计算速度越来越快,计算容量越来越大,能够处理的单元数量越来越多,计算精度越来越高,建模方法更加简化,前后处理更加全面,数值模拟技术已成为油田应力场研究中不可缺少的方法。

(三)水—岩作用研究现状

水—岩作用研究是近 20 年来国际上活跃的研究领域,主要应用于流体势及油水运动对地下储层控制等的研究领域。已召开 8 次国际专题讨论会,1992 年美国黄石公园召开的第 7 次会议影响最大,涉及地热系统、环境污染、核废料处理等诸多领域的水—岩反应。1992 年日本东京召开的第 29 届和 1996 年中国北京召开的第 30 届国际地质大会等都将流体—岩石相互作用作为专题讨论。第 30 届国际地质大会共交流流体—岩石相互作用和机理研究方面的论文 55 篇,开放体系中矿物溶解和化学动力学研究方面的论文 15 篇。1990 年,美国地球化学联合会召开了“地表规模的流体搬运:理级与机遇”,英国皇家地质学会组织了“俯冲带流体的行为和影响”两次大型的学术会议。1993 年英国格拉斯哥召开了地质流体的专门会议,出版了《沉积盆地地质流体:成因、运移和演化》一书。该书收集了大陆边缘和大陆内部大规模的流体流动、变形与流体流动的关系、流体流动与储层演化的关系、流体化学、金属—有机质相互作用、流体演化及烃类和金属的运移和沉淀、流体演化的示踪剂等内容,可见流体—岩石相互作用受重视的程度。目前,世界上许多大型盆地都开展了这项研究,如北海油田大陆架、加拿大西部阿尔伯塔盆地、美国加州 San Joaquin 盆地、伊利诺斯盆地、东俄亥俄盆地、墨西哥湾盆地、得克萨斯盆地西南部海湾沿岸(Gulf Coast)等。国内徐学纯(1995)提出,流体地质学(流体—岩石相互作用为重要研究内容)可作为一门独立的学科存在。可见,国内外学者都已注意到了这一研究领域在地球科学中的重要地位。前人的研究主要是研究水和岩石的溶解、沉淀、吸附、离子交换作用,尚未见长期注水开发油田中油藏流场的骨架场、粘土矿物场、孔喉网络场、物理化学场、应力场和流体场等 6 场如何伴随开发阶段的加深而演变和改造,及对储层微观剩余油形成与演化、分布规律的控制和对储层中可动油形成分布演化的控制等。

水—岩作用可导致地下油层地应力演化,有的学者从油井套管损坏、报废这个侧面来研究注水开发油田地应力场的变化,如国外原苏联的巴拉哈内—萨布奇—拉马宁油田,因地应力场变化,引起现代地壳运动,自 1937 年至 1982 年,套管损坏和破裂报废 3200 口井;美国威明顿油田,1974 年地震后,因地应力场改变,引起断层活动或产生新断裂,三年内套管损坏井 300 口;美国的密西西比南帕斯 27 断块油田,在钻遇断层的 250 口井中,至 1971 年底,已有 54 口井损坏,其中 21 口井报废;1963—1968 年,在原苏联第聂伯—顿涅茨盆地、外喀尔巴阡山、伏尔加格勒等地区的含盐层段发现有 35 口井套管损坏。有的学者从油井化学场变化、产能变化和地震前兆来研究应力场变化。有的学者将综合研究与实验相结合来研究注水开发油田储层的应力敏感性、固液耦合作用及对储层物性及流体的影响,深化和发展了油藏流场应力场研究,指导了油田勘探和开发。

应力场和渗流场变化又对压力场有影响,固液相互影响称耦合。20 世纪 40 年代,Terzaghi 最早研究可变形饱和介质中流体的流动;之后,Biot 对三向变形材料与孔隙压力的相互作用深入研究;20 世纪 80 年代后,岩土工程领域对固液耦合做了大量工作,多研究中高渗储层。目

前,世界石油低渗透储量比例越来越大。开发实践表明低渗透油田油层孔隙度、渗透率随上覆压力变化明显,即固液耦合效应较中高渗透油田强很多,应进行储层应力敏感性研究,一方面证实固液耦合作用存在;另一方面,考虑岩体流变性,即储层蠕变、松弛和长期作用强度降低等现象,试图从低渗透油田开发效果和一些边界油藏能否有效动用角度,探讨低渗透油田不同物性参数储层对应力的敏感程度、流固耦合利弊和界限分析,进而对储层润湿性、油水驱替力、驱替速度、孔喉大小、分选性、均匀程度和连通程度对剩余油形成分布演化的控制作用。

(四) 成藏机理研究现状

自石油工业形成以来,油气成藏机理是石油地质学家极为关注的难题。因为研究油气藏在时空的分布规律及主控因素,不仅能指导油气田的勘探开发,同时还能解决石油地质理论的科学前沿难题。近几十年来,国内外许多学者致力于油气成藏机理的研究,取得很多成果,但因油气藏形成过程极复杂,影响因素众多,致使油气生成、运聚和保存中的重大理论和实际问题仍处于推理阶段,阻碍了盆地模拟技术、圈闭评价技术和油气藏描述技术等的发展,制约了油气勘探开发理论技术向更深更广的领域高速发展。以下分三个阶段论述油气成藏理论、机理研究。

(1) 国内外油藏成藏机理研究的初始时期(19 世纪末至 20 世纪 50 年代)。

这个时期的早期,怀特(1981)提出背斜学说,认为油气藏是沿背斜褶皱带分布的,为油气成藏机理研究的初期,后至 20 世纪 50 年代陆相生油理论形成发展。主要成果为:① 建立了油气成藏的背斜学说;② 提出了“非背斜圈闭理论”;③ 提出油气运聚主要控制因素是“浮力、水动力和毛细管力”;④ 陆相成油理论形成发展,石油地质学家从更广阔的角度研究石油的生成、聚集和成藏机理。

(2) 国内外油气藏成藏机理研究的全面发展时期(20 世纪 60 年代至 80 年代末)。

有 20 年的发展历史,全面系统地研究了油气成藏机理,建立了陆相石油地质学理论,在我国东部、西部和海域发现了许多油气田,改变了我国在世界石油界的面貌,创造了较大的经济效益。① 油气藏形成地质环境的确定;② 深化发展了有机地球化学在烃类生成、成熟和初次运移中的重要作用;③ 深入、系统研究了油气二次运聚机理;④ 综合系统地研究了油气成藏的宏观条件;⑤ 深入发展了水动力对油气藏形成、保存和破坏构成的重要控制;⑥ 建立了陆相石油地质学理论。在松辽、渤海湾及世界其他陆相盆地发现了大、中型或特大型油气田。

(3) 国内外油气藏成藏机理研究的半定量或定量化发展时期(20 世纪 80 年代至今)。

自 20 世纪 80 年代至今已有近 30 年的发展历史。国内外许多学者综合运用成藏机理理论、油气藏勘探方法和技术、计算机技术、物理模拟和数学模拟等理论技术深入系统地研究了油气成藏条件、机制及其之间的有机配置关系等,取得的主要成果为:① 建立了油气成藏机理研究的配置理论、方法、技术;② 油气初次运移取得长足的进展;③ 深化发展了沉积盆地内油气成藏过程中势能的认识;④ 将油气生成、运移、聚集统一研究,提出了“流体封存箱理论”(Hunt,1990);⑤ 模拟实验已为油气成藏过程研究的重要手段和方法;⑥ 裂隙介质渗流特征机理研究获得迅速发展;⑦ 油藏模型的建立和广泛应用;⑧ 水-岩作用研究和应用;⑨ 油气藏保存与破坏研究得到重视,建立了烃源岩和气藏的天然气扩散地质模型和数学模型。在断裂作用对油气藏保存破坏研究方面,Weber 等(1987)利用环形剪切实验装置模拟断层泥的形成,证实了在剪切应力作用下塑性地层可形成断层泥,对流体起遮挡作用。Watts(1987)以 Smith 理论模型为基础计算了断层封闭单相烃柱的能力差别。Harding(1989)研究了前渊盆地稳定翼和裂谷盆地基底正断层的封闭性。国内陈章明(1992)利用逻辑信息法建立了勘探早期阶段判断正断层封闭性的数学地质模型。

(五) 剩余油研究现状

剩余油的研究涉及三个方面,即剩余油形成机理与分布规律、剩余油饱和度的测量与监测技术及剩余油挖潜技术。主要研究方法包括岩心分析、测井、地震、油藏工程、油藏数值模拟及试井等。

国内各研究所、大专院校、油田及石油公司都在探索应用不同方法研究油田高含水期剩余油的分布,并对各种方法进行了归类整理。1996年张昌民、樊中海把这些方法归结为三大类,即一维纵向剩余油分布研究方法、二维平面剩余油分布研究方法和三维空间剩余油分布研究方法;1997年俞启泰提出不同规模的剩余油研究内容是不同的,而且剩余油研究的对象应该和不同规模的油层体积对应起来,即分为微规模、小规模、大规模和宏规模。

剩余油分布的控制因素主要包括两个方面,即地质因素和开发因素,地质因素集中表现在油藏非均质方面,具体包括沉积微相、储层非均质、储层微构造、断层及流体性质等方面。开发因素中最重要的是注采系统的完善程度及与地质因素的配置关系。油藏管理因素在某种程度上也影响剩余油分布,如层系划分不合理及所配注水量不科学等均可造成平面、层间动用差异,进而形成剩余油富集区。

三、主要研究内容和难点

东濮凹陷是地应力复杂和低级序断层极为发育的复杂断块区,油气成藏和富集主要受构造的控制。本书综合应用石油地质学、构造地质学、岩石力学、测井地质学、地震地质学、储层地质学、数学地质和油藏工程等多学科研究理论和方法技术,将定性定量相结合、一维至四维相结合、动静相结合,以濮城油田南区沙二上亚段2+3低渗透复杂断块油藏为例,建立了濮城油田低渗透复杂断块油藏控油断层封闭模式和成藏模式,并通过建立油藏周缘四维应力场和流体运移势场的动态模型,揭示研究区四维应力场、流体运移势场的特征、分布、演化规律及其对原始油藏的形成、分布、演化的控制作用,预测濮城油田低渗透复杂断块原始油藏分布规律和剩余油形成分布和演化,尝试建立低渗透复杂断块区油气藏研究、描述、表征和预测的配套理论和方法技术,以指导油田开发,改善开发效果,提高采收率。其难点主要有以下几点:

- (1) 建立濮城油田南区沙二上亚段2+3末端扇储层沉积模式;
- (2) 建立濮城油田南区沙二上亚段2+3油藏四维构造应力场及流体运移势场演化模型,研究油气分布;
- (3) 建立濮城油田南区控油断层封闭模式;
- (4) 建立濮城油田南区复杂断块油气成藏模式;
- (5) 揭示濮城油田南区沙二上亚段2+3油层剩余油形成机理,预测剩余油分布。

四、本书的特色和创新

(1) 以濮城油田南区高分辨层序地层格架为基础,研究建立了沉积模式,提出了濮城油田南区沙二上亚段2+3储层是具有恒定物源供给的末端扇沉积。认为研究区主要储层是末端扇中部亚相分流河道砂体,次为河道两侧和前缘的近水道漫溢、远水道漫溢等砂体。

(2) 阐明了储层物性的控制因素,指出沉积、成岩作用为主控因素,分析了储层埋深、砂岩结构、地层压力及生物扰动构造等对储层物性的控制作用。

(3) 建立了濮城油田南区沙二上亚段2+3储层隔夹层模式,揭示了隔夹层成因及识别标

志。研究表明,该区隔层分为4类,主要形成于泥滩近水道漫溢微相、远水道漫溢微相和远端盆地微相,钙质胶结砂—砾岩夹层主要形成于成岩作用。总体上,隔夹层纵向分布频繁,层间隔层分布稳定,厚度大的夹层分布较稳定,厚度薄的夹层分布相对零散。

(4)建立了濮城油田南区沙二上亚段2+3储层非均质模型。研究区储层孔隙类型多样,微观孔隙结构分为三类,以严重的层内、层间非均质性为主,平面非均质性主要受沉积相带控制,具有方向性和非均质程度不均一性。

(5)建立了濮城油田南区控油断层主应力封闭、岩性产状时间配置封闭,泥岩沾污因子封闭和时间封堵等四类封闭模型,揭示了研究区目的层控油断层封闭机理和主控因素。

(6)建立了濮城油田南区四维应力场和流体运移势场动态演化模型,揭示了沙二期、东营期、现今等不同时期构造应力和流体运移势的分布特征及演化规律,指出流体运移势场分布规律有利于油气在反向屋脊断块或封闭性强的不同级序控油断块中富集成藏,为预测研究区油气分布规律提供了依据。

(7)分析研究了濮城油田南区环洼带烃源岩地质特征及油气输导体系,并利用定性和半定量方法揭示了油气成藏期,解剖分析了研究区油气运聚特征,结合区域成藏动力系统,建立了油气成藏模式。

(8)研究揭示了濮城油田南区沙二上亚段2+3油层剩余油形成的主控因素及其分布规律。研究表明,剩余油主要受沉积微相、储层非均质性、断层及油藏工程等因素控制,二砂组剩余油主要富集在 S_2^3 、 S_2^4 小层的近气顶区,三砂组剩余油主要富集在 S_3^4 、 S_3^5 小层的濮53、文17断块构造高部位及注采不完善的地区,局部剩余油饱和度可高达50%,是极有利挖潜和提高采收率的部位。

第二章 濮城油田南区石油地质概况

一、濮城油田地层格架

东濮凹陷是中生代末燕山运动后期形成的陆相断陷式沉积盆地,发育了厚 7000m 以上的新生界。古近纪是盆地的主要断陷期。据濮城油田钻井揭示的地层来看,地层层序自下至上为太古生宇、中生界、新生界,新生界又划分为古近系、新近系、第四系等。其中古近系和新近系为主要的盆地充填沉积,发育多套生储层系(图 2-1)。古近系沙河街组二段是濮城油田主要的含油层系,主要为滨浅湖环境的河流—末端扇沉积,分为沙二下亚段和沙二上亚段。沙二下亚段分八个砂层组,岩性主要为紫红色、浅棕色泥岩与灰白色砂岩互层,夹碳质泥岩,视电阻率曲线基值较低,夹部分中低阻尖峰。沙二上亚段分七个砂层组,其岩性为:1~3 砂层组为灰绿色、浅棕色泥岩夹砂质泥岩,砂岩以中薄层粉细砂岩沉积为主,并与泥岩频繁互层;4~7 砂层组为浅棕色、灰绿色、灰黄色泥岩薄层间互,并含有泥膏岩沉积,砂岩呈透镜状细砂岩,局部地区砂岩底部发育粗砂岩。其中 S_2s^2 、 S_2^3 两个砂层组是研究的主要目的层。

综合应用研究区沙二上亚段 2+3 砂层组取心井岩心,区内 1000 余口井沙二上亚段 2+3 砂层组录井、测井等资料,建立了沙二上亚段 2+3 砂层组高分辨率层序地层格架。

(一) 濮城油田层序地层识别标志

在高分辨率层序地层学理论中,不同级别的基准面旋回过程中的转换面均能形成不同级别的层序界面。一个完整的基准面旋回有上升和下降两个半旋回,在不同级别的基准面旋回从下降到上升过程中,在最低点处可形成构造不整合界面、侵蚀不整合界面和沉积不整合界面,及与之相关的整合面;而在基准面自上升至下降过程中,于最高点位置的区间,形成连续沉积的、相当于最大海泛期(或洪泛期)的整合界面为主,部分为欠补偿条件下形成的无沉积间断面。按基准面旋回定义,在前一种情况下形成的各类不整合界面为不同级别的层序界面,后一种情况下形成的界面为湖泛面。其中,不同级别的层序界面在地质属性和识别标志均不相同。

1. 岩心界面特征及识别标志

由于岩心剖面有很高的分辨率,是高级次基准面旋回识别的基础。根据岩石相组合内记录的基准面变化信息,首先识别基准面旋回的转换点,其次在层序内据岩石序列中水深变化或沉积地貌的保存程度或沉积物被侵蚀的趋势来确定层序形成过程中基准面的变化方向。据濮城油田取心井的研究和描述,在沙二上亚段 2+3 砂层组识别出冲刷侵蚀面、岩相类型或相组合的转换面、岩石相内的层理变化界面、砂、泥岩厚度旋回性变化界面等四类岩心界面(图 2-2)。

2. 测井界面特征及识别标志

濮城油田沙二上亚段 2+3 砂层组在测井曲线上直接识别层序边界的主要标志有:

地层					地层代号	地层厚度(m)	岩性剖面	主要岩性特征	沉积相
界	系	统	组	段					
新 生 代	新 系	新 统	明 化 镇 组		Nm	1000 1400		以棕色粘土、粉砂、含砾砂岩为主。底部为棕红色泥岩，偶夹泥质粉砂岩；中部为棕红色、浅棕红色砂质泥岩；上部为棕黄色、浅棕色砂泥岩互层	河流相
		中 新 统	馆 陶 组		Ng	250 600		以浅灰色砂砾岩夹棕、灰色泥岩为主。底部为厚砂层夹薄层灰质砂岩、碳质页岩；下部以灰白、浅灰色含砾砂岩及细砾岩为主，夹泥岩及砂质泥岩，上部为泥岩、泥质粉砂岩及粉细砂岩、粉砂岩互层	河流相
	古 新 统	渐 新 统	东 营 组		Ed	400 1400		下段为泥岩，砂质泥岩夹粉细砂岩；中段为泥岩及砂质泥岩和砂岩、含砾砂岩互层；上段为厚层块状灰泥岩、中厚层粗砂岩及含砾砂岩与泥岩互层	河流—泛滥平原相
			沙 一 上 亚 段		Es ₁ [±]	100 280		为灰色、深灰色泥岩夹中厚层粉砂岩、中细砂岩，并含有生物灰岩、鲕状灰岩等	浅湖—半深湖相 三角洲相
			沙 一 下 亚 段		Es ₁ ^F	50 400		为灰色、深灰色泥岩夹中厚层状盐岩及细粉砂岩	
			沙 二 下 亚 段		Es ₂ [±]	120 600		可划分七个砂层组：1-3砂层组岩性为灰绿色、浅棕色泥岩夹砂质泥岩，砂岩以中薄层粉细砂岩沉积为主，并与泥岩频繁互层；4-7砂层组岩性为灰绿色、泥岩薄层间互，并含有泥膏岩沉积，砂岩呈透镜状细砂岩，局部地区砂岩底部发育粗砂岩	滨浅湖相 扇三角洲相
			沙 二 下 亚 段		Es ₂ ^F	240 550		主要为紫红色、浅棕色泥岩与灰白色砂岩互层，夹碳质泥岩，可分为八个砂层组	河流—泛滥平原相 漫湖相
			沙 三 上 亚 段		Es ₃ [±]	100 600		灰色、深灰色泥岩与粉细砂岩互层，砂岩顶部常为钙质砂岩、含砾砂岩	半深湖—深水盐湖相、三角洲、浊积相及扇三角洲相
	新 系	新 统	沙 三 中 亚 段		Es ₃ ^中	300 500		以深灰色页岩、盐岩、云质泥岩、细砂岩、粉砂岩为主，含少量的砾岩、粗砂岩及中砂岩	
					Es ₃ ^F	400 1500		主要为灰黑色油页岩，灰白色盐岩，深灰色泥岩与灰色粉砂岩、细砂岩不等厚互层	
			沙 四 上 亚 段		Es ₄ [±]	100 400		上部为深灰色泥岩、页岩、劣质油页岩和含膏泥岩互层；中部为灰色泥岩、细砂岩、粉砂岩，以及泥质粉砂岩的不等厚互层；下部为细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩不等厚互层	浅湖—半深湖相
			沙 四 下 亚 段		Es ₄ ^F	50 300		一套紫红色细砂岩、粉—细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩组成，夹少量质较纯净的紫红色泥岩	漫湖—浊积相

图 2-1 濮城油田地层格架图

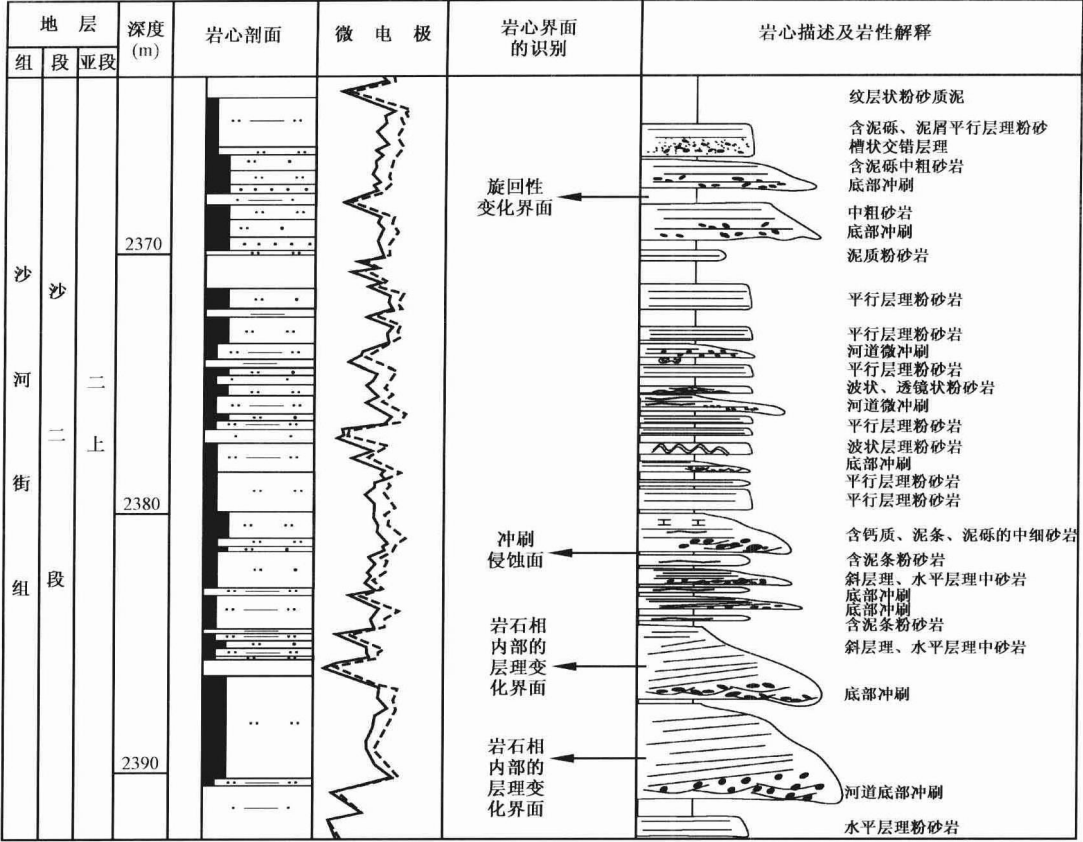


图 2-2 濮城油田沙二上亚段 2+3 砂层组濮 12 井岩心界面识别图

(1)沙二上亚段 2 砂组顶部 1 小层微球形聚焦以及感应测井曲线为两峰值,具“双尖峰”特征,为 2 砂组和 1 砂组的分界(图 2-3)。

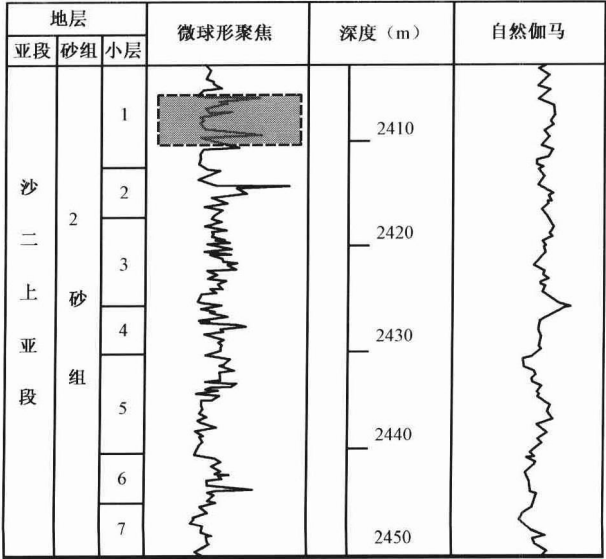


图 2-3 濮城油田濮 3-281 井测井界面特征的识别标志

(2)沙二上亚段3砂组6小层自然电位呈明显钟型负异常,自然伽马值向低值偏移,形成一低值漏斗状形态,俗称“子弹头”(图2-4)。

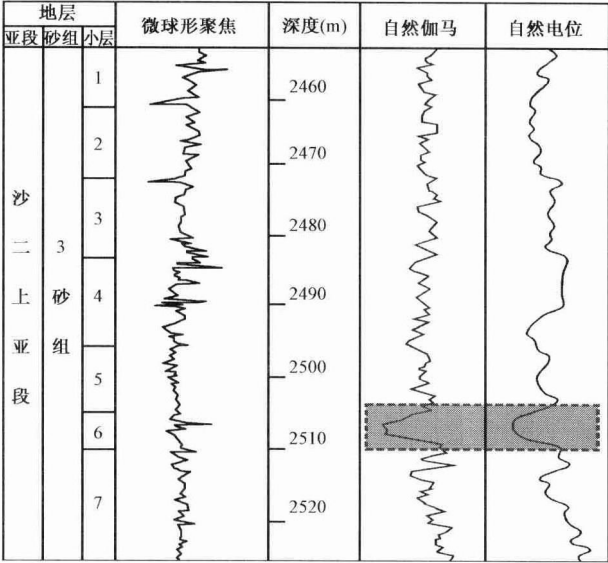


图2-4 濮城油田新濮1-109井测井界面的识别标志

(二) 濮城油田层序划分及层序地层格架

依据基准面识别的原理,进行层序界面的划分。在层序格架内,利用高分辨率层序地层的理论,综合地质、测井、岩心分析等,识别基准面旋回,将濮城油田2+3油层2和3砂组各分为7个小层,自上而下分别为2砂组1小层至7小层,3砂组1小层至7小层(图2-5)。

从层序划分连井剖面上可见,2砂组3、6小层,3砂组1、5、7小层砂层最为发育,短期旋回厚度大且范围广(图2-6、图2-7)。

二、濮城油田构造格架

濮城油田位于东濮凹陷中央隆起带北部,三面临洼,是一个NNE向延伸,被断层复杂化的长轴背斜构造。具上缓下陡、北翼缓、东西两翼较陡的特征。NNE、NEE和E—W向三组主要断裂,将濮城油田切为四大断块,各断块又被次级断层切为若干小断块。四大断块为濮14和濮24之间的南断块,濮24断层以南文51断块,以濮25断层为界的东断块和西断块。各断块的构造特征、油气聚集均各不同。

(一) 濮城油田构造特征及面貌

濮城构造是长轴背斜,NNE倾没,SSW抬起。长轴NE30°,长15km,宽4.5km,长宽比1:0.3,构造面积54km²。断层发育,使背斜复杂化。西翼陡,NW倾,倾角5°~12°,东翼较缓,SE倾,倾角4°~10°,两翼均具有深部地层倾角增大、向上逐渐减小的特征(图2-8)。由于断层的控制,不同沉积期构造顶面各有不相同的特点。

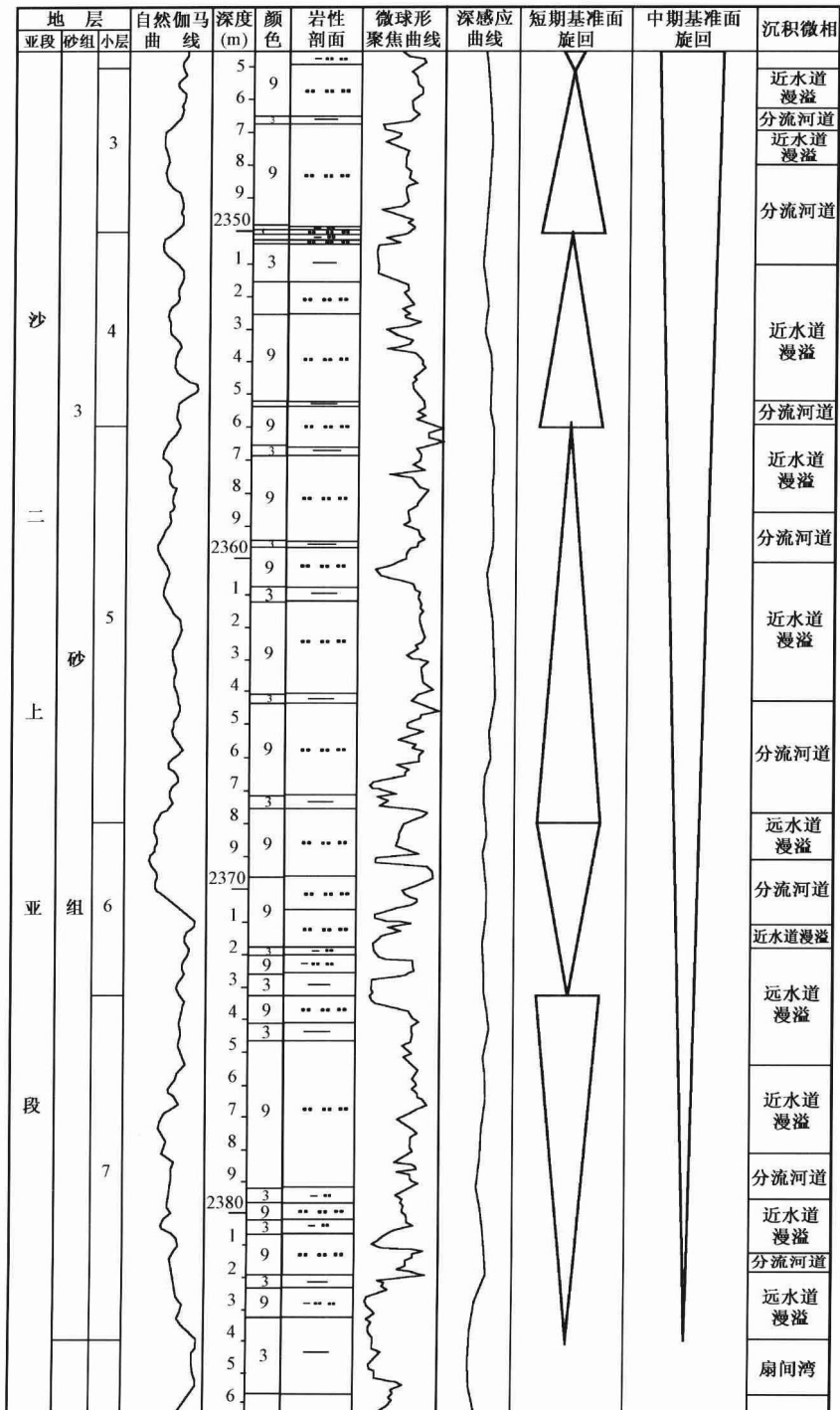


图 2-5 濮城油田沙二上亚段 2+3 砂层组新濮 3-38 井中期旋回下降基准面半旋回层序特征