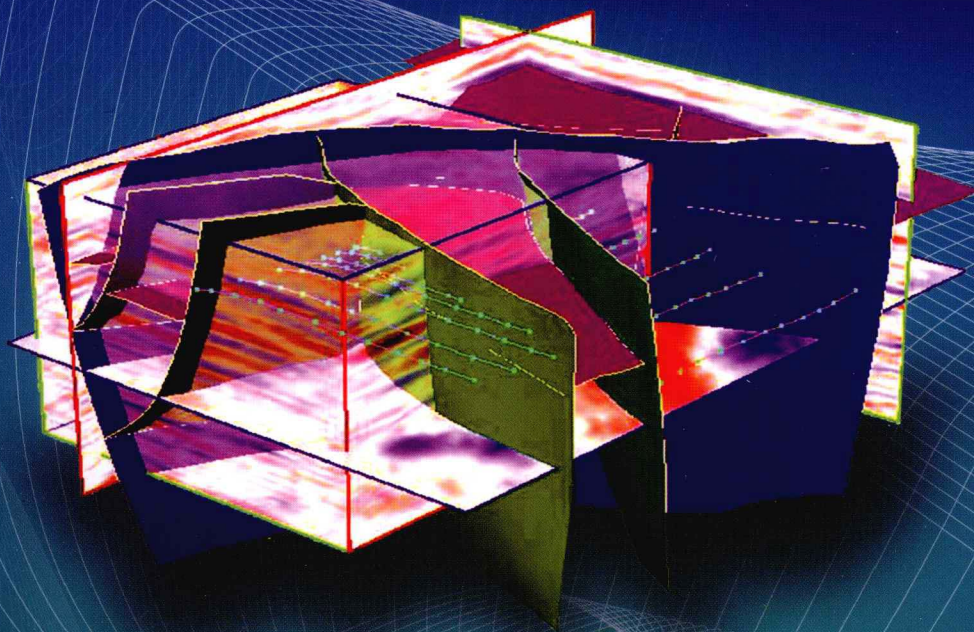




FUZADUANKUAI YOU CANG MOSHI YU SHENGYUYOU YUCE

复杂断块油藏模式 与剩余油预测

王顺华 编著



石油工业出版社

复杂断块油藏模式与剩余油预测

王顺华 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书综合应用多学科理论、方法和技术,研究和揭示了复杂断块油藏形成机制和分布规律,建立了复杂断块油藏剩余油分布模式,实现了复杂断块油藏预测。

本书可供石油开发地质科技工作者使用,也可作为大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

复杂断块油藏模式与剩余油预测 / 王顺华编著.

北京:石油工业出版社,2009.4

ISBN 978-7-5021-7077-6

I. 复…

II. 王…

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 043612 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: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523694 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2009 年 4 月第 1 版 2009 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 8.25

字数: 206 千字 印数: 1—1000 册

定价: 35.00 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

我国大陆和海域盆地中广泛发育了复杂断块油气藏，这类油气藏在我国不仅数量众多，且总储量也较大，因此是我国最重要的油气藏类型之一。这类油气藏成藏地质环境很复杂，控油断层数量很多，构造面积极破碎，断块极小，主控断层在复合联合应力场中存在，具复杂的演化历史，在成藏中具通道、封闭、调整、改造和破坏作用，导致同一个油田有时分布演化极为复杂。

惠民凹陷中央隆起带以断层多、断块小而破碎著称，是国内外闻名的极为典型的复杂断块油气田聚集带。经过多年的勘探和开发，已成功发现并开发了许多复式油气田，取得了辉煌的成果。然而随着勘探开发的逐渐深入，后备储量和剩余油的挖潜难度巨增，故建立复杂断块油藏模型，揭示复杂断块油藏的形成机制和剩余油分布规律，实现复杂断块油藏预测和剩余油挖潜具有重要意义。

该书综合应用构造几何学、运动学、动力学、构造应力场、流体势场、控油断层封闭模式与封闭史等多学科的理论、方法及技术，研究和揭示复杂断块油藏的形成机制和分布规律，实现断块油藏的预测。研究表明，惠民凹陷中央隆起带受复杂应力方式、不同级序断层的控制，平面断裂组合和剖面断块构造样式多样，为复杂破碎的断裂构造带。平面断裂系统分为北东向、棋盘格式和帚状等三种断裂体系；剖面断裂样式分为阶梯状、斜列式、座椅式、马尾状、负花状、Y 字形等多种类型，为多期联合或复合应力场的产物。

本书共六章。第一章绪论，主要论述复杂断块油藏的内涵、国内外研究现状、主要研究内容和特色。第二章惠民凹陷石油地质概述，主要阐述惠民凹陷地层格架和沉积体系、构造格架、成藏条件和油气分布规律。第三章复杂断块构造模式，主要论述复杂断块构造几何学特征、运动学研究、形成机制和动力学研究。第四章复杂断块四维构造应力场数值模拟，主要阐述构造应力场驱油的动力学机理，应力场数值模拟原理和方法，复杂断块油藏地质模型的建立，应力场数学模型的建立，四维应力场演化规律和流体势场与油气分布规律。第五章复杂断块控油断层封闭模式，主要论述控油断层封闭性内涵、封闭性研究原理和方法、控油断层封闭机理、封闭模式和封闭性模糊综合评判。第六章剩余油形成机理和预测，主要阐述临 13 断块油气地质模型，水驱油机理，不同韵律油层水驱油规律，吸水剖面水淹规律研究，测井储层水淹评价，剩余油分布模糊综合评价和剩余油分布预测。

该书主要特色是构造应力场数值模拟，揭示了自东营期末、馆陶期至现今三期应力场演化规律和演变过程，提出了中央隆起带复杂断块始终为最大主应力值低值区，尤以临邑、商河为油气富集的有利地区。与复杂断块断层封闭性综合评价研究相结合，揭示了控油断层封堵性的影响因素，建立了五种断层封堵模式，提出了该区古近系内断层均有不同程度的封堵性，断层封闭开启性是控制油气贫富的重要因素。解剖了长期注水开发临 13 断块油藏微观水驱油机理和宏观水淹规律，建立了复杂断块油藏剩余油分布模式，揭示了剩余油形成机理，为挖潜剩余油、提高采收率提供了科学依据。

该书在编写过程中得到石油大学刘泽容教授、李红南副教授的悉心指导，并提出了修改意见，胜利油田临盘采油厂熊敏副厂长、陈庆春总地质师以及王秀鹏、刘金、王勤田等专家为本书提供了大量资料，给予了很大帮助，借此机会表示由衷的感谢。

由于笔者水平有限，书中不当之处，敬请读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 复杂断块油藏的内涵	1
第二节 国内外研究现状	2
第三节 复杂断块构造模式的主要内容和特色	5
第二章 惠民凹陷石油地质概述	8
第一节 惠民凹陷地层格架和沉积体系	8
第二节 惠民凹陷构造格架	14
第三节 成藏条件和油气分布规律	17
第三章 复杂断块构造模式	29
第一节 复杂断块构造几何学特征	29
第二节 复杂断块构造运动学研究	36
第三节 复杂断块构造形成机制与动力学研究	44
第四章 复杂断块四维构造应力场数值模拟	53
第一节 构造应力场驱油的动力学机理	53
第二节 应力场数值模拟的原理和方法	57
第三节 复杂断块油藏地质模型的建立	59
第四节 复杂断块油藏应力场数学模型的建立	59
第五节 复杂断块油藏四维应力场演化规律	60
第六节 复杂断块油藏流体势场与油气分布	62
第五章 复杂断块油藏控油断层封闭模式	64
第一节 控油断层封闭性内涵	64
第二节 控油断层封闭性研究的原理和方法	64
第三节 控油断层封闭机理	70
第四节 中央隆起带复杂断块控油断层封闭模式	72
第五节 中央隆起带复杂断块控油断层封闭性模糊综合评判	85
第六章 剩余油形成机理和预测	92
第一节 临 13 断块油藏地质模型	92
第二节 水驱油机理研究	95
第三节 不同韵律油层水驱油规律研究	108
第四节 吸水剖面水淹规律研究	111
第五节 测井信息水淹层评价	111
第六节 剩余油分布模糊综合评价	114
第七节 剩余油分布预测	116
参考文献	121

第一章 绪 论

惠民凹陷位于渤海湾盆地济阳坳陷西部,以中央隆起带断层多、断块小而破碎著称,是国内外闻名的极为经典的复杂断块油气田聚集带。经过多年的滚动勘探和开发,以中央隆起带为依托,已找到了多个复式油气田,取得了辉煌的成就。进入 20 世纪 80 年代以来,惠民凹陷的石油勘探、开发和石油地质理论研究,展开了多方位、多层次的工作,硕果累累。在油气藏成因、分布及油藏类型方面,潘元林(1981)、信荃麟等(1985, 1988, 1989)、刘泽容(1988)、李晓清(1992)等做了专门论述;任安身和杜公瑾(1985)、刘泽容(1992)、李晓清(1992)等对凹陷的构造地质特征进行了分析,为油田的滚动勘探、开发做出了贡献。然而随着滚动勘探开发的逐渐深入,勘探难度增大,经应用多学科理论、开发技术,强化立体勘探开发思路,实现勘探开发一体化,深化发展复杂断块油藏勘探开发配套理论和方法技术,获得了丰硕的勘探开发成果,创造了临盘油田又一个辉煌成就。

第一节 复杂断块油藏的内涵

地下岩石中的油气,在运移过程中,若岩石物性或构造形态阻止油气运移,油气将会在各种类型圈闭中聚集、富集,形成油气藏,若圈闭中仅聚集富集了油称油藏,若仅聚集富集了气称气藏,若油气同时聚集富集称油气藏。据不同的分类原则,可将油气藏分为不同的类型,主要有构造油藏、地层油藏、岩性油藏、水动力油藏和复合油藏等类型。复杂断块油藏属构造油藏中的一种特殊类型,是断层封闭形成圈闭,油气在各类复杂的断层、断块圈闭中聚集、富集成藏。

惠民凹陷中央隆起带是一个由不同级序、不同应力方式、应力场、不同层系、不同类型、不同成因构造组成的,成藏地质条件十分复杂的复杂断块油气聚集带,同时又是一个复杂的、在短时间内很难认识清楚的油气富集高产地质构造带。故对复杂断块油气藏的研究认识必须通过不断实践、不断认识、逐步深化才能完成。滚动勘探开发过程中,随着地质认识的加深,其对技术的要求越来越高,需要各学科、不同技术手段的密切配合,尤其需要及时应用新理论、新技术,才能满足复杂油气田滚动勘探开发的需要。但目前单纯的三维地震精细解释技术、双靶定向井技术及地层重复测试技术等已不能满足惠民凹陷复杂断块油气田的滚动勘探开发需要。为此本书试图在含油气盆地构造几何学、运动学及动力学分析的基础上,应用构造应力场、流体势场、测井约束地震反演、相干分析及控油断层封闭性等多学科的新理论、新方法及新技术,对复杂断块油藏的滚动勘探开发进行了深入的解剖,进而预测油藏分布,从而达到提高惠民凹陷中央隆起带的石油勘探效益,实现增储上产的目标。

惠民凹陷是渤海湾盆地济阳坳陷最西部的一个次级凹陷,属于中国东部主要盆地断陷结构中比较典型的含油气凹陷。本次以惠民凹陷中央隆起带的研究为重点,以求建立断陷盆地中央隆起带复杂断块的构造模式及其剩余油分布模式,并为同类盆地的研究提供可资借鉴的方法和技术。

第二节 国内外研究现状

惠民凹陷经历了多次构造运动和复杂的动力学发展历史,是在多种应力方式和应力场的作用下生成和发展的,以断裂发育、破碎断块油气藏类型丰富而著称。目前国内外对复杂断块油藏的研究,已经从单纯的几何形态描述进入到动力学分析,强调了地球动力学环境对复杂断块油藏构造及沉积作用的控制。构造分析应包括几何学分析、运动学分析和动力学分析三个方面,同时应考虑其时空演化规律,完整地反映盆地的演化及构造式样的特征。惠民凹陷复杂断块油气藏的分布规律非常复杂,在长期的开发过程中,始终处于动态平衡之中。因此,复杂断块油藏研究需要以区域的油气藏类型、分布规律和主控因素分析为基础,揭示复杂断块的形成机制,综合考虑应力场、流体势及断层封闭性对油气运移聚集影响的全过程,才能有效预测油气藏分布,并从典型区实际油气藏解剖研究出发,分析已开发油藏的剩余油分布规律,才能取得勘探和开发的重大突破。

一、国内外油气田构造应力场研究现状

在油气勘探早期,石油天然气研究者们普遍认为油气二次运移的作用力主要为浮力、水动力和毛细管阻力,决定二次运移方向和聚集油气的液体势(梯度)主要由这三种力组成。随着石油地质学家们强调异常地层压力、水动力、浮力和毛细管力在油气二次运移中的作用,逐步认识到构造应力是油气运移的动力。Secor (1965)、Roehet (1981)、Sibson (1975)、Hooper (1991) 等对此均有深入的分析,但多侧重于理论方面的研究,而用于指导油气田勘探开发尚不多见。

构造应力场的研究方法可分为野外调查、理论分析和模拟实验等三类。随着构造应力是油气运移动力的认识,构造应力场的模拟研究开始应用于油气田勘探开发领域。

应力场的模拟实验又可分为物理模拟和数值模拟。

1. 国内外应力场物理模拟研究现状

早在 30 年代,李四光教授就利用泥巴、浸湿的软纸来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进行了模型试验。

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。这些实验均提高了对地质现象的理性认识。

2. 国内外应力场数值模拟研究现状

随着计算机的发展和各种应力场计算机软件的出现,数值模拟愈来愈广泛。数值模拟的优点是可以任意调整参数,改变边界条件和加力方式,对各种方案进行模拟计算。

起初数值模拟多采用解析法,这种方法结果准确,但对不均匀介质、不规则的边界模型难于进行模拟计算。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。

早期的应力场模拟多用在构造体系和构造型式方面。如黄庆华用解析法进行了多字型、旋卷构造应力场分析,王维襄进行了入字型构造、棋盘格式构造等解析分析,王连捷等进

行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、沈淑敏等进行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,并由二维发展到三维。谭成轩、王红才等进行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,殷有泉进行了辽河张强凹陷三维应力场有限元模拟。

油气田构造的应力场数值模拟有如下作用:①通过应力场模拟,可以证实理论上的推断,并可发现新的规律;②在已知少数测点应力状态或边界条件下,应力场模拟可以给出全区应力场的分布;③在对应力场进行详细分析的基础上,进一步求取流体势,寻找可能的油气聚集低势区。

近十几年来,油田应力场数值模拟得到了很快的发展,计算软件不断更新,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面。

二、国内外控油断层研究现状

复杂断块油田的成藏条件与断层密切相关。断层面可以是油气运移的通道,也可以是油气圈闭的遮挡面,这主要取决于断层面的封闭开启能力。对断层封闭性的研究已有半个世纪之久,一些学者(Derrel A. Smith, 1966, 1980; Harding, 1989)指出,断层面两侧岩性的对置关系和岩石排驱压力的大小是影响断层封闭性的关键因素。据此,有些学者提出了“断面剖面分析法”和“三维地震断层切片分析法”。曹瑞成(1992)等应用“逻辑信息法”建立了早期探区断层封闭性的判别、预测模型。此外,也有学者(N. L. Watts, 1982, 1988; 汤锡元, 1982)分别从不同的角度对影响断层封闭性的因素进行了讨论。

断层圈闭的油气富集主要受断层侧向纵向封闭性控制。研究区的油藏类型主要为断层油藏和断层—岩性油藏,因此断层侧向纵向封闭性研究对揭示这个地区的油气聚集规律及指导油田勘探开发均有重要意义。

在国外,Smith (1966)从分析断层封闭性的实质出发,建立了断层封闭性的经典理论模型,并于1980年利用油田实例论证了该模型的正确性。虽然Smith建立的断层封闭性的经典模型有一定的局限性,但为后来学者在这一领域的研究奠定了坚实的基础;Downey (1984)指出断层封闭的双向性,即垂向封闭和侧向封闭;Watts (1987)从理论上论述了断层两盘不同渗透能力的砂岩相互对置,断层无充填情况下断层封闭烃柱能力的差别;Allan (1989)从油气运移的角度,利用断面剖面分析技术,进行了断层封闭性的研究;Gibson (1994)阐述了断裂带充填物的存在及其分布规律对油气侧向封闭能力的影响;Berg (1995)等在研究生长断层封闭特征时,比较了剪切带的性质与圈闭能力,丰富了断层封闭作用的类型和研究方法;G.Yielding (1997)通过涂抹因子的求取与计算,为断层封闭性的定量预测做出了较大的贡献。可以看出,早期断层封闭性研究多集中在理论方面,而近期的工作则侧重于断层封闭性的预测。

在国内,张树林等(1993)利用断面剖面分析技术和差异聚集模式研究了断层封闭性;赵永祺等(1996)以枣北孔一段为实例,研究了原始条件下断层封闭性和注水开发后断层封闭性的变化,此研究对调整注采系统和有效注水有较大的参考价值;杨克明等(1996)探讨了塔里木盆地断裂的输导性和封闭性,并认为该区断裂的封闭性是因断裂系统

及断层的几何学和运动学特征存在差异造成的；吕延防（1995）通过断层两盘砂泥对接概率的模拟，研究断层的侧向封闭程度，利用断面压力研究断层的垂向封闭程度，将两个分析结果组合判断断层的综合封闭能力，此方法为断层封闭性的研究向半定量化一定量化发展提供了一种思路；王志欣等（1997）从孔隙压力和有效应力原理出发，提出了断层封闭性评价的新见解，值得进一步探索；李亚辉等（1998）通过沉积埋藏史、构造演化史、应力场演化史的研究，提出了通过计算地史时期断面所承受的正应力来研究断层封闭史的方法，丰富了断层封闭性的研究。

可见，国内外许多地质工作者都曾研究和探索过断层封闭性的问题，并取得了一系列的进展和可喜成果。从研究内容上看，多数人侧重于断层的几何学、形态学或断层面的物质涂抹研究；从研究思路上看，以从单一学科和单一手段研究断层封闭性逐步向多学科、多角度研究断层封闭性方面发展。

此外，由于断层的开启和封闭本身是矛盾的统一体，许多学者谈封闭就不考虑运移，谈运移就不考虑封闭，把两种特性人为的分开，以至于对某些问题认识上还有些混乱，因此迫切需要在这一领域加强研究。

三、国内外剩余油研究现状

从国内外剩余油研究的文献来看，主要包括剩余油分布、剩余油饱和度、不同的剩余油挖潜技术等三方面的研究。

1. 剩余油分布研究

1) 宏观分布研究

据国外大量的研究表明，油藏流场中剩余油形成分布主要有下列规律：①在注水中未水洗的低渗透夹层中，或水绕过的低渗透带中的剩余油，这类剩余油量约为 27%；②因地层压力梯度小，在油不流动的油层部位（滞流带）中的剩余油，为 19.5%；③未被井钻到的透镜体中的油，为 16%；④小孔隙中被毛细管力束缚的剩余油，为 15%；⑤薄膜状存在于储层岩石表面上的剩余油，为 13.5%；⑥局部不渗透的遮挡（如封闭性断层等）处的剩余油，为 8%。可见，约有 70% 的剩余油分布在储层宏观非均质性导致的注入水未波及带，仅有少部分（约 30%）残留在水淹层内。

国内现有研究分析表明，高含水后期和特高含水采油阶段油藏流场剩余油的分布规律与国外研究相似，剩余油主要分布在注入水未波及到的或者波及程度比较低的部位，剩余油形成与分布受地质因素和油藏工程因素控制。地质因素主要包括沉积微相、储层非均质性、储层微观特性、储层微构造、油藏构造、流体性质等；油藏工程因素主要包括注采系统、井网完善程度及层系组合等。前者是内在因素，后者具有主观性，受地质体认识程度的影响，两者间存在交互的、错综复杂的关系。

目前，主要利用驱油效率与波及系数计算方法、三维地震方法、油藏数值模拟方法、动态分析方法、沉积相方法、检查井和观察井研究方法等来揭示宏观剩余油的形成机理、分布和富集程度。

2) 微观分布研究

从微观的角度来看，剩余油即油层中的原油经一定程度开采后剩余在储层孔隙及颗粒表面的原油，主要由于驱油效率低而遗留。目前通过储层水驱油微观模拟实验及检查井岩心分析研究表明，微观剩余油主要分布在：①细小孔隙网络结构中的局部死油区；②渗流阻力大的细小孔道中；③与流向垂直孔道中的原油段塞处；④大孔道中附着于孔道壁的油

斑或油膜；⑤储层中的盲孔中。分布形式有呈簇状分布在水驱不到的孔隙或孔隙群中；薄膜状吸附在颗粒表面；油滴状卡断于孔隙喉道、颗粒表面的坑凹处等；粘土矿物吸附状；在孔隙的特殊部位残留状态等。

“微规模”尺度的剩余油主要利用微观数学和物理模型研究和剩余油的物理—化学性质及组分研究、孔隙结构及微观驱替机理研究等方法来揭示储层微观孔喉网络场中微观剩余油形成机理和分布规律。

2. 剩余油饱和度研究

剩余油饱和度研究是定量评价油层中剩余油的数量，为确定剩余油开采动态、实施提高采收率方法的经济分析和效益评价等提供依据。国内外都十分重视发展剩余油饱和度的测定和监测技术，目前，国内外确定剩余油饱和度技术基本相似，主要为单井分析、井间测量、室内模拟和油藏动态分析等四类技术，各类技术都有其独特的优势和局限性。

单井剩余油饱和度分析技术包括岩心分析法确定剩余油饱和度，测井技术确定剩余油饱和度，回流示踪剂测试技术确定剩余油饱和度，单井不稳定测试（试井法）技术确定剩余油饱和度等。

井间剩余油饱和度测量技术包括井间示踪剂测试和电阻率法，分别利用示踪剂层析理论和电流电位的测量值，确定均值井间剩余油饱和度。

室内模拟剩余油饱和度技术是用实际岩心和原油在室内进行流动试验，在模拟油层条件下测定或推断残余油饱和度。还有对流自吸试验、毛细管压力和动态相对渗透率试验也能获得剩余油饱和度资料。这些方法的可靠性有赖于试验期间模拟油藏条件（压力、温度、润湿性、速率、饱和度史等）的能力。

油藏动态分析剩余油饱和度技术是用油藏岩石和流体资料、物质平衡计算和数值模拟进行综合研究，提供整个储层剩余油饱和度的平均估算值。该技术分为物质平衡技术和数值模拟技术。前者是根据生产动态，利用物质平衡原理，在一个完整油藏中从油藏初始估算油量减去产出油量得到剩余油量的平均估算值；后者利用油田实际井网、注采关系、储层岩性物性参数和生产资料，用计算机进行生产历史拟合，确定油藏参数，最终给出剩余油饱和度及分布。

3. 剩余油挖潜技术研究

剩余油挖潜技术的首要任务是扩大注入水的波及体积，提高水驱采收率。提高水驱采收率的途径需因地制宜，采取钻高效调整井、按小层完善注采井网、各种水动力学方法、调剖堵水、水平井侧钻等方法进行治理。从国内现场应用效果来看，要重视三次采油，三次采油可以提高采收率 10%。目前国内外的钻井技术取得了突飞猛进的发展，定向井为代表的钻井新技术给油藏描述提出了更高的要求。

第三节 复杂断块构造模式的主要内容和特色

为了揭示惠民凹陷中央隆起带复杂断块油藏的形成机制、富集规律和剩余油预测，综合应用石油地质学、沉积学、储层地质学、石油构造地质学、油藏工程学、测井地质学、岩石力学和流体力学等多学科的理论为指导，应用地质、地震、测井、油藏工程等多种资料信息参数，最大限度地应用计算机手段，定性和定量相结合、一二三四维相结合、物理

模拟和数学模拟相结合,研究惠民凹陷中央隆起带复杂断块油藏经 30 余年注水开发,不同含水期油藏各子模型主要特征、演化规律、控制因素,从宏观到微观,从三维到四维揭示油藏子模型特征演化,建立复杂断块油藏模型,预测剩余油分布,指导油田开发,改善开发效果,提高采收率。

主要技术难点是:建立复杂断块油藏地质模型;建立复杂断块油藏不同时期构造应力场、流体势场演化模型和油气分布预测;复杂断块油藏控油断层封闭模式和封闭型模糊综合评价;复杂断块油藏剩余油形成机理、模糊综合评价和预测。

该书的主要内容和特色是:建立了惠民凹陷地层、沉积和构造格架,研究了圈闭及油气藏类型,提出了惠民凹陷油气分布规律。阐明了惠民凹陷临南地区构造几何学、运动学规律,建立了复杂断块构造模式及演化模式,揭示了动力学形成机理。建立了构造应力场、流体势场四维模型,揭示了自东营期末—馆陶期—现今四维应力场、流体势场的空间展布特征和演化规律,提出临盘和商河地区的最大主应力和流体势值始终为流体势低势区,表明中央隆起带复杂断块油藏是多期成藏形成的。建立了主应力、泥岩沾污因子、岩性配置、断层活动期和成藏期配置等五类复杂断块断层封闭模式,进行了控油断层模糊综合评价,为复杂断块油藏预测奠定了科学依据。提出低级序复杂断块油藏受临邑弧形同生断层控制,断块内派生低级序断层,控制区内的沉积。不同级序断层封闭开启性,对圈闭形成及油气的富集具不同的控制作用。提出复杂断块油藏高含水期,控制驱油效率的主因是渗透率、原油粘度、含水率及注水开发速度等多因素作用。渗透率越大,驱油效率越高。注水开发速度对高粘油组驱油效率的提高有主要意义,普遍比低粘油组更见成效。据真实砂岩模型水驱油研究,建立了复杂断块油藏微观剩余油分布模式。提出亲水岩样剩余油多呈珠状在大孔隙和孔隙中央或呈簇状在孔喉极不均匀地带,水多在小孔隙、孔隙边缘和孔隙角隅;亲油岩样剩余油多在小孔隙、孔隙边缘和孔隙角隅,而水多在大孔隙和孔隙中央,油岩颗粒间界线常较模糊,呈浸染状。绕流、卡断是研究区微观剩余油形成的主因,驱动力主要为注水压力和毛细管力共同作用。提出了剩余油形成分布受原油性质、沉积微相及砂体展布、断层封闭开启性、储层非均质性及注采系统等多因素的控制。实现了剩余油分布模糊综合评价,预测了复杂断块油藏剩余油分布规律。建立了复杂断块构造模式(图 1-1)、油气藏和剩余油分布研究、描述和预测的配套理论和方法技术。

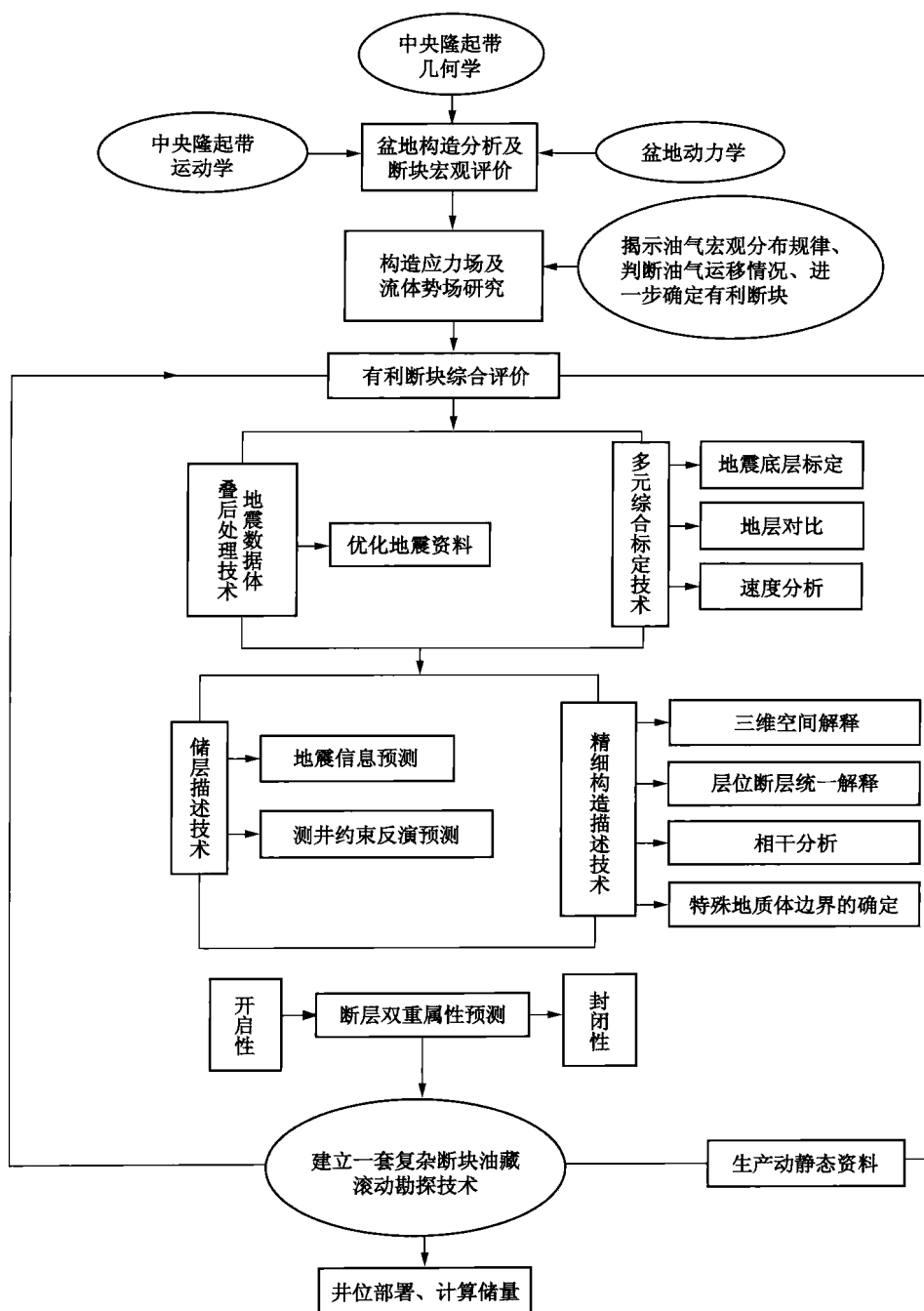


图 1-1 复杂断块构造模式研究详细流程图

第二章 惠民凹陷石油地质概述

第一节 惠民凹陷地层格架和沉积体系

一、惠民凹陷地层格架

惠民凹陷是发育在华北地台之上的中—新生代断陷盆地，为济阳拗陷最大的一个次级凹陷，它北以基山—郑店断裂与埕宁隆起分界，南以齐河—广饶断裂与鲁西隆起毗邻，东、西两端分别与东营凹陷和临清拗陷的莘县凹陷相连，东西长约 130km，南北宽约 35 ~ 70km，面积约为 7000km²（图 2-1）。

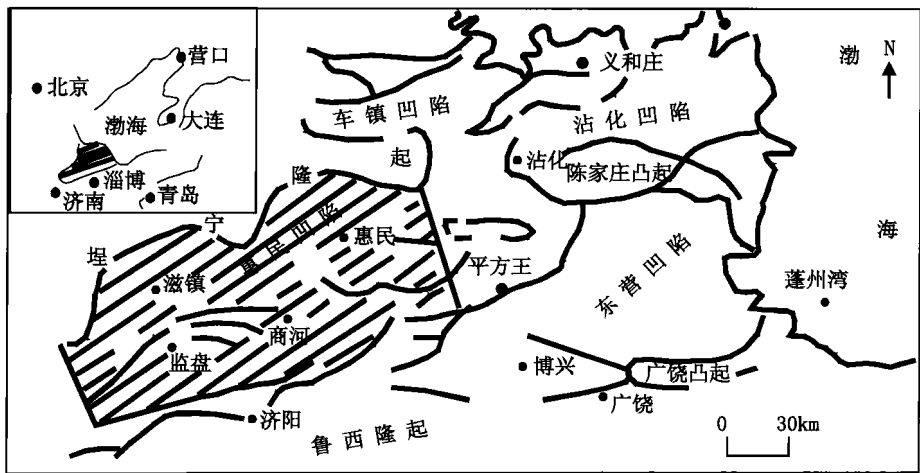


图 2-1 惠民凹陷构造位置图（据胜利油田地质科学研究院，1994）

据地质、地震和钻井资料分析，惠民凹陷基底由太古宇及古生界组成，其上发育有下古生界的寒武系、奥陶系，上古生界的石炭系、二叠系，中生界的侏罗系、白垩系，新生界的古近系、新近系和第四系（图 2-2、表 2-1）。

1. 泰山群

是研究区最古老的基底岩层，主要在凸起部位钻遇。岩性较为复杂，以各类片麻岩为主，其次为角闪岩类，局部见黑云母石英片岩及黑云母斜长变粒片麻岩，同位素年龄在 2400Ma 年左右，据邻区资料，总厚度可达 11000m。

2. 古生界

与下伏泰山群呈角度不整合接触，包括下古生界寒武系、奥陶系及上古生界上石炭统、二叠系；上下古生界之间为区域性假整合，缺失上奥陶统一下石炭统。下古生界为一套浅海相沉积；上古生界为海陆交互相沉积。

3. 中生界

本区中生界缺失三叠系。侏罗系及白垩系均有分布，但系统组之间接触关系复杂。侏罗系与下伏地层为区域性不整合接触。中生界内部岩层单位的接触关系大致以中—下侏罗

统的三台组顶为界，上、下为两大构造旋回，中一下侏罗统可能为大陆内拗陷沉积，上侏罗统一下白垩统为大陆内断陷充填式沉积；目前由于燕山期运动和喜马拉雅期伸展块断运动，呈残留盆地形式分布。

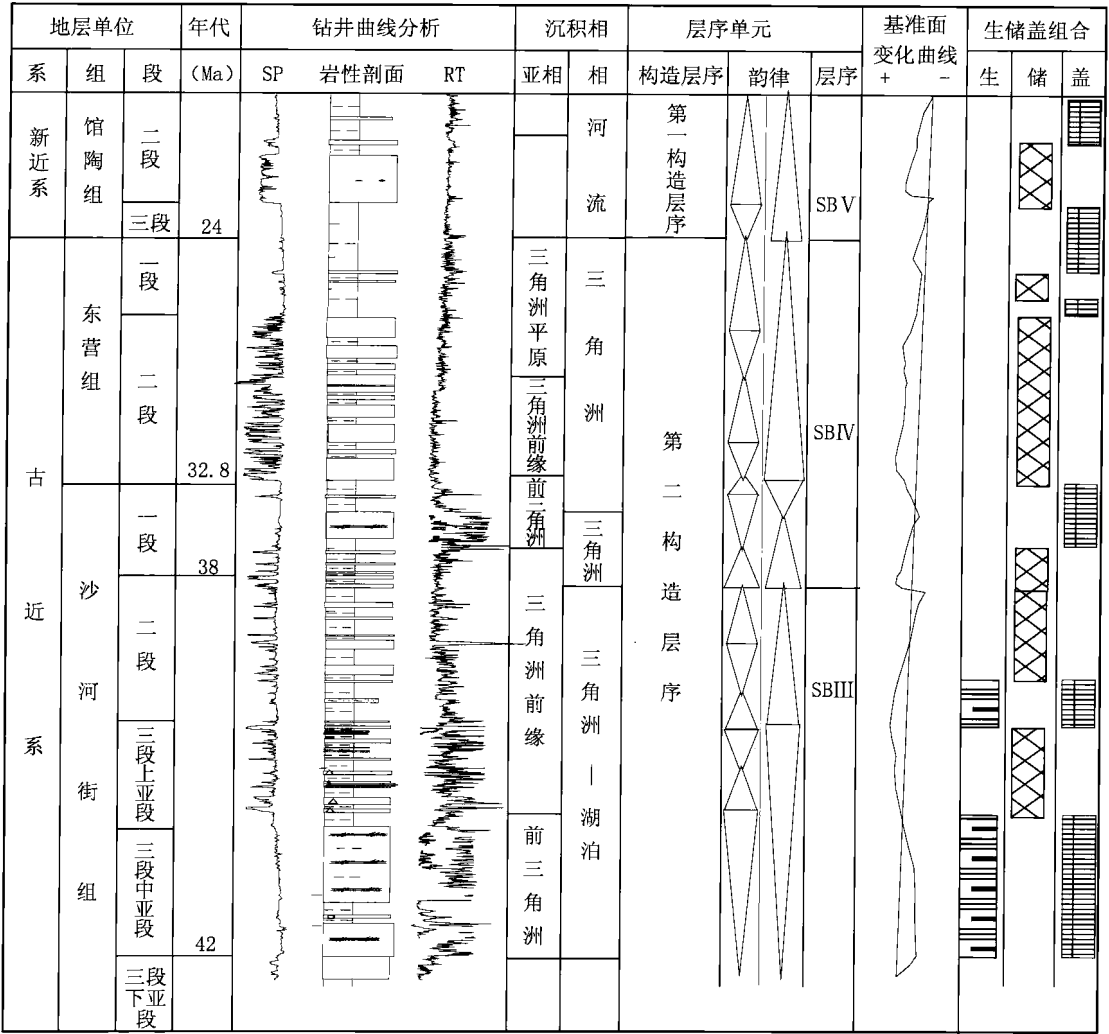


图 2-2 惠民凹陷古近—新近系地层综合柱状图

4. 新生界

包括古近系孔店组、沙河街组、东营组，新近系馆陶组、明化镇组及第四系平原组。新近系分布是区域性的，总体上厚度变化平缓，岩性岩相过渡特征具区域拗陷特点；而古近系则显示了剧烈的差异变化特征，厚度变化巨大，岩性、岩相多具突变关系。该套地层是目前惠民凹陷主要勘探开发层位。

1) 孔店组

本组分为三段，自下而上依次为孔三段、孔二段、孔一段。

孔三段：岩性为灰绿色、紫灰色厚层玄武岩夹少量紫红色、灰绿色及灰色泥岩、砂质泥岩，顶部夹少量薄层碳质泥岩。

表 2-1 惠民凹陷地层简表

地 层				代 号	绝对 年龄 (Ma)	厚度 (m)	岩 性	地层 分布特点	
界	系	统	组段						
新 生 界	第四系		平原组		Qp	2.0	240 ~ 360	非固结黄土层	
	新近系	上新统	明化镇组		Nm	5.1	750 ~ 1050	棕黄、棕红色泥岩夹浅灰色、棕黄色粉砂岩及部分海相薄层	
		中新统	馆陶组		Ng	24.6	250 ~ 400	砂、泥岩互层，底部有玄武岩	
	古近系	渐新统	东营组		Ed	38.0	1000	砂、泥岩不等厚互层	
			沙河街组	一段	Es ₁		300	主要为暗色泥岩夹砂岩及碳酸盐岩	多分布于临邑地区
				二段	Es ₂		450	紫红、棕红色泥岩与灰色粉、细砂岩互层	分布局限、往往缺失
		三段		Es ₃	1500	下部主要为深灰色泥岩、粉细砂岩、棕褐色油页岩等；中部以暗色泥岩为主；上部为灰色泥岩与灰白色粉、细砂岩互层	Es ₃ 为很好的生油岩，最厚 500m，主要分布于临南洼陷		
		四段		Es ₄		1000	下部以紫红、灰绿色泥岩为主夹砂岩等；中部以蓝灰色泥岩、灰白色盐岩石膏层为主；上部以灰、深灰、灰褐色泥岩为主	沉积中心在临南洼陷北部	
		孔店组	一段	Ek ₁	54.9	5000	棕红色砂岩与紫红色泥岩不等厚互层	该套地层埋深大，可达 4500m，为早期单一—半地堑沉积	
			二段	Ek ₂					
			古新统	三段	Ek ₃		65.0		以灰绿、紫灰色厚层玄武岩为主，夹少量泥岩
	中 生 界	上侏罗统—下白垩统				J ₃ —K ₁	149	陆相暗色砂泥岩、火山碎屑岩和砂砾岩	为裂谷型沉积
		中—下侏罗统				J ₁₊₂	190	陆相含煤系地层	稳定大陆内拗陷沉积
古 生 界	石炭系—二叠系				C—P	350	海陆过渡相含煤建造和陆相碎屑岩	分布范围广，岩性岩相稳定，为地台型沉积	
	寒武系—奥陶系				Є—O	570	浅海相碳酸盐岩为主		
太古宇泰山群					Art	2400	11000	花岗片麻岩	基底变质岩系

注：表中地层时代及绝对年龄参见《胜利油区地质研究与勘探实践》（王秉海等，1992）。

孔二段：主要是一套暗色湖相沉积，岩性为灰色、深灰色泥岩夹砂岩、岩屑砂岩、含砾砂岩、油页岩、碳质泥岩及煤层等。

孔一段：岩性为棕红色砂岩与紫红色泥岩不等厚互层，夹少量绿色泥岩；盘深1井钻穿厚度2042m。

孔店组为盆地发育早期的断陷充填式沉积，沉积和沉降中心位于北部的阳信洼陷和滋镇洼陷，向南逐渐变薄，南坡的曲1井仅见孔一段超覆在下白垩统之上。总厚度可达近5000m。

2) 沙河街组

从岩性上分为四段，依次为沙四段、沙三段、沙二段、沙一段。

沙四段：下部以紫红、灰绿色泥岩为主，夹砂岩、粉砂岩、含砾砂岩及薄层碳酸盐岩，阳3井钻穿厚度401m；中部岩性以蓝灰色泥岩、灰白色盐岩石膏层为主，夹深灰色泥质白云岩及少量灰色、紫红色泥岩；上部以灰色、深灰色、灰褐色泥岩为主夹碳酸盐岩、砂岩及油页岩，阳1井钻遇厚度677.5m未穿。沙四段沉积和沉降中心与孔店组一致。

沙三段：是一套湖相沉积的暗色砂、泥岩互层，可分为三个亚段，其中沙三下亚段又可分为两个岩性段。沙三下亚段盘河油层段：灰色粉细砂岩与灰色泥岩互层，中上部砂岩发育，下部以泥岩为主；砂岩主体位于西部的盘河镇地区并夹多层碳质页岩，向东砂岩减少，至商河油田及以东地区相变为仅几十米厚的泥岩夹油页岩，它可能是河流三角洲砂体；钻穿最大厚度371.5m（盘13井）。沙三下亚段油页岩段：棕褐色油页岩夹灰色泥岩及少量透镜状砂岩，偶尔夹薄层白云岩；钻穿最大厚度350m（田4井）。沙三中亚段以灰色、深灰色巨厚泥岩为主，但在基山至玉皇庙一线发育有一北北西走向的砂岩体，使该带表现为砂泥互层的特点；钻穿最大厚度为404m（临19井）。沙三上亚段为灰色泥岩与灰白色粉、细砂岩互层，夹少量油页岩及薄层灰质砂岩，顶部发育有70～100m的泥岩段；钻遇最大厚度483m（临50井）。

沙二段：紫红、棕红色泥岩与灰色粉、细砂岩互层。钻穿最大厚度444.5m（夏32井）。

沙一段：下部为灰色、深灰色、灰绿色泥岩夹灰白色细砂岩、砂质灰岩、白云岩及钙质砂岩；中部为灰色、深灰色泥岩夹生物灰岩、鲕状灰岩、针孔状灰岩及白云岩等；上部为灰色、灰绿色、灰褐色泥岩夹钙质砂岩、粉细砂岩。钻穿最大厚度290.5m。

3) 东营组

本组地层为砂、泥岩不等厚互层，分为东三段、东二段、东一段。

东三段：以浅灰色、灰白色砂岩、含砾砂岩为主，夹灰绿色、灰褐色泥岩，少量薄层碳质泥岩，底部可见薄层劣质油页岩。钻穿最大厚度606m。

东二段：主要为灰绿色、灰褐色泥岩，夹少量泥质粉砂岩。钻穿最大厚度282m（夏31井）。

东一段完全缺失。

4) 馆陶组

厚250～400m，可分为两个岩性段。

馆下段：岩性为灰、浅灰色、灰白色厚层块状砾岩、含砾砂岩、砂岩夹灰色、灰绿色、紫红色泥岩、砂质泥岩；下部为杂色泥岩与灰绿色粉砂岩的不等厚互层，商河地区底部为玄武岩。