

王 军 / 著

潜山油藏动态模型 及油藏预测

QIAN SHAN YOU CANG
DONG TAI MO XING
JI YOU CANG YU CE



石油工业出版社

潜山油藏动态模型及油藏预测

王 军 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是应用多学科理论和方法技术,最大限度的应用计算机理论和手段,综合研究和揭示潜山油藏不同级序动态、静态、裂缝网络模型,建立潜山油藏动态、静态、仿真和预测地质模型,预测潜山油藏油气富集规律、空间分布,改善了开发效果。

本书可供油田开发地质工作及大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

潜山油藏动态模型及油藏预测/王军著.

北京:石油工业出版社,2004.12

ISBN 7-5021-4867-1

I. 潜…

II. 王…

III. ①油藏-地质动态模型

②油藏-预测

IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第122902号

潜山油藏动态模型及油藏预测

王军著

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:10.5

字数:267千字 印数:1—1000册

定价:22.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

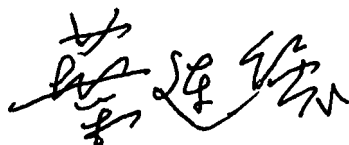
版权所有,翻印必究

序

本书是作者在博士论文的基础上进一步深化发展的成果。作者王军博士从事油田开发工作十余年,现任胜利油田地质科学研究院高级工程师,在油田开发地质方面有较高的造诣,为我国石油开发业作出了贡献,该成果是他多年工作的结晶,他抓住我国东部油区已进入勘探开发的高成熟期,增储上产的难度极大,是国际学科的前沿难题。“科学技术是第一生产力”,作者应用国内外现代潜山油藏研究、描述、表征、预测的多学科理论和方法技术,以相似露头区研究与地下覆盖区相结合,地质、地震、测井、油藏工程、动静结合、物理模拟、数学模型相结合,定性定量相结合深入研究了富台潜山油藏6个断块7套储层的内幕构造、岩溶作用、储集空间、储集体系、四维应力场、三重孔隙结构储层综合评价,建立了四维模型、仿真模型,揭示了潜山油藏成藏机制、成藏模式,实现了潜山油藏预测,取得了显著的经济效益和社会效益。

该成果的主要特色是首次系统的论述了潜山油藏动态模型、仿真模型的概念、特征、建模原理、方法和软件系统,潜山油藏四维模型、仿真模型及油气富集规律,提出构造运动、构造应力场、岩溶作用、储层岩石学、微裂缝是潜山油藏储集空间和油气成藏富集的机理和主要控制因素,给改善潜山油藏开发效果,提高潜山油藏采收率提供了科学依据,深化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主要参考书。

中国科学院院士:



前 言

能源是社会发展的基础,油气是能源的重要成员,也是工业的“血液”和国民经济发展的重要支柱,深化发展和改善油气田的勘探开发有深远的理论意义和实用价值。

济阳拗陷是我国东部油气最富集的含油气盆地,经历了四十多年的勘探开发,现已进入勘探开发的高成熟期,增储上产难度很大。潜山油藏,特别是碳酸盐岩潜山油藏是世界上高产油气藏类型之一。潜山油藏埋藏深,经历的构造运动、应力方式、地质作用均较多,油藏内幕构造、储层、成藏均极复杂,非均质性强、增储上产属国际学科前沿难题。“科学技术是第一生产力”,要实现潜山油藏改善勘探开发效果,提高油气采收率,就必须多学科联合攻关,研究潜山油藏内幕构造、岩溶作用、储层形成机制、分布规律,建立潜山油藏不同级序裂缝网络静态模型、动态模型、仿真模型,建立成藏模型,揭示潜山油藏形成机制和分布规律,指导油田开发,实现提高油气采收率的目的。

该书是笔者承担国家“973”科技攻关课题的部分研究成果,研究区为沾化拗陷富台潜山油藏6个断块包括下古生界、八陡组、上下马家沟组、冶里—亮甲山组、长山组、凤山组和府君山组等7套储层。研究中综合应用多学科的理论和方法,最大限度的应用计算机技术,并与相似露头区相结合,研究和揭示了富台潜山油藏内幕构造几何学、运动学和动力学,储层岩石学、储集空间类型、储集体系、岩溶作用类型、机理和控制因素,三重孔隙结构储集体、成藏模式,建立了相似露头、岩心、微观、测井和裂缝网络模型,建立了富台潜山静态、动态、仿真和预测模型及成藏模型。

全书共分九章,绪论论述了建立潜山油藏动态模型的概念,国内外研究现状,主要研究内容及特色。第二章阐述沾化凹陷地层格架、沉积体系、构造格架、油气藏类型及分布。第三章论述相似露头区选择原则、依据、露头规律和岩石规模、裂缝网络模型。第四章阐明富台潜山油藏储层岩石学、储集空间类型、储集体系、形成机制和控制因素。第五章论述三重孔隙结构储层解释、评价原理、方法,评价成果及油藏预测。第六章论述岩溶作用类型特征、动力学机制、控制因素及岩溶期次。第七章阐述了裂缝网络预测模型建立的原理和方法,裂缝网络地质模型、数学模型和预测模型。第八章阐明了四维模型、仿真模型概念,建模的原理、方法,富台潜山油藏四维模型、仿真模型。第九章论述了富台潜山油藏成藏机制、成藏史、成藏模式及油气藏预测。

该书从潜山油藏演化角度揭示了潜山油藏储层、储集空间、油藏宏观、微观形成机制及非均质性,研究了6个断块、7套储层相似露头规模、岩心规模、微观规模、测井储层岩溶作用类型、机理、控制因素,揭示了富台潜山油藏油气富集规律。深入系统地论述了潜山油藏不同级序静态模型、动态模型、仿真模型和预测模型建立的思路、方法和软件。希望本书能对油田开发地层、油藏工程及潜山油藏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。

本书编写过程中,得到刘泽容教授的悉心指导并提出修改意见,胜利油田地质研究院的刘显太等专家为本书提供了大量的基础资料,给予很大帮助,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,欢迎专家同行批评指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
一、潜山油藏动态模型研究现状	(1)
二、潜山油藏动态模型的主要研究内容和特色	(5)
第二章 区域构造背景	(7)
一、沾化凹陷地层格架和沉积体系	(7)
二、沾化凹陷构造概述	(9)
三、沾化凹陷油气藏类型和分布规律	(11)
四、富台潜山油藏内幕构造格架和构造演化	(13)
第三章 富台潜山油藏储层成因类型及空间分布	(22)
一、富台潜山油藏储层岩石学	(22)
二、富台潜山油藏储集空间类型	(22)
三、富台潜山油藏储集体系	(27)
四、富台潜山油藏形成机制及控制因素	(35)
第四章 富台潜山油藏露头岩心规模裂缝网络模型	(44)
一、富台潜山油藏相似露头区研究	(44)
二、富台潜山露头规模裂缝网络模型	(47)
三、富台潜山油藏岩心规模裂缝网络模型	(50)
四、富台潜山油藏裂缝形成机制	(56)
五、富台潜山油藏裂缝控制因素	(58)
六、富台潜山油藏有利岩性和层位裂缝储层预测	(59)
第五章 富台潜山油藏三重孔隙结构测井储层网络模型	(60)
一、富台潜山油藏三重孔隙结构测井储层解释评价原理和方法	(60)
二、富台潜山油藏三重孔隙结构测井解释成果	(66)
三、富台潜山油藏三重孔隙结构测井储层评价	(69)
四、潜山油气富集规律及富集区分析	(79)
五、富台潜山油藏有利储层和油藏富集分布规律	(80)
第六章 富台潜山油藏岩溶动力系统	(81)
一、岩溶动力系统概念	(81)
二、岩溶动力系统研究的原理和方法	(82)
三、岩溶动力系统主要类型	(84)
四、岩溶动力系统的动力学机制	(86)
五、岩溶动力系统控制因素	(88)
六、岩溶动力系统演化期次	(89)
第七章 富台潜山油藏裂缝网络预测模型	(92)
一、富台潜山网络预测模型建立的原理和方法	(92)

二、富台潜山油藏裂缝网络地质模型	(94)
三、富台潜山裂缝网络数值模拟	(97)
四、富台潜山油藏裂缝网络预测模型	(102)
第八章 富台潜山裂缝油藏仿真模型和四维动态模型	(112)
一、四维模型及仿真模型的概念	(112)
二、四维模型的原理和方法	(113)
三、仿真模型的原理和方法	(116)
四、四维模型软件系统	(120)
五、仿真模型的软件系统	(130)
六、富台油田四维模型仿真模型	(131)
第九章 富台潜山裂缝油藏成藏模式	(135)
一、富台潜山油藏储层模型	(135)
二、富台潜山油藏形成机制	(141)
三、富台及周缘潜山油气藏类型及特征	(143)
四、富台潜山油藏成藏模式	(145)
五、富台潜山油藏油气富集规律和油气预测	(157)
参考文献	(159)

第一章 绪 论

潜山油藏属极为复杂的油气藏类型,但产能常较高,特别是碳酸盐岩潜山油藏多是世界上高产油气藏类型之一。潜山油藏储层埋藏深,经历的构造运动期次和应力方式均较多。油藏内幕构造、储层成因类型、空间分布、岩溶机理、成藏模型和非均质性都很复杂,地震示频较低,已有的地震资料频带为8~35Hz,主频为17Hz左右,加上潜山内幕速度高(1/4波长,分辨率仅为88m),故揭示潜山油藏的几何形态、空间分布,准确求取储层参数,建立精细的三重孔隙结构潜山油藏的静态地质模型,特别是潜山油藏三重孔隙结构定量网络模型,不仅难度很大,而且是当代国内外正在攻关的国际学科前沿难题,从查阅近10年国内外有关文献来看,潜山油藏动态、仿真地质模型研究和建立,目前国内外尚无这类研究成果的报道,故难度更大。

胜利油田已勘探的潜山油藏类型多且复杂,有残丘、断块和复杂等三大类型,探明含油面积126.1km²,探明地质储量15306×10⁴t;已投入开发的地质储量11721×10⁴t,动用程度为34.3%,2001年年产油49.9×10⁴t,采出程度为10.3%,综合含水为36.3%。在三类潜山油藏中,复杂潜山油藏储量为8118×10⁴t,占53%,油藏埋深大于3000m的储量占56%。

上述表明胜利油田潜山油藏形成的地质环境极为复杂,开发难度很大,若能建立潜山油藏的静态模型、动态模型、仿真模型和预测地质模型,优化油藏工程措施,必能显著的降低潜山油藏开发成本,改善开发效果,提高潜山油藏的经济效益。这里以富台潜山油藏为例来探讨潜山油藏动态模型、仿真模型建立的理论、方法和技术以及富台潜山油藏动态模型及油气富集的关系,对深化和发展陆相断陷湖盆开发地质学的理论和方法,有重要的理论意义和实用价值。

一、潜山油藏动态模型研究现状

1. 潜山油藏动态地质模型研究现状

1) 潜山油藏储层和潜山内幕构造研究

近十几年来,国内外盆地构造研究的理论和方法有了许多重要的新进展。岩石圈及构造动力学理论的深化和发展,使得盆地构造形成演化的分析解释更具逻辑性。强调在区域地质背景分析的前提下研究含油气盆地构造,从定性到定量综合研究含油气盆地不同层次、不同尺度、构造的几何学、运动学、动力学过程,及与油气形成条件和富集规律的关系。伸展、挤压、走滑、重滑、反转等构造的新理论、新概念和构造解析的新技术、新方法在含油气盆地构造研究中广泛的应用和发展,使含油气盆地构造研究向量化方向发展。总之,系统考虑区域构造地质与动力学成因背景,广泛运用现代构造地质学研究的新技术、新方法,已经成为含油气盆地构造研究的新趋势。构造研究已经成为含油气盆地分析的重要支柱,显著地提高了油气勘探的成功率和预测水平。

深部复杂的地层构造常采用综合的构造解析方法来分析。即在区域构造研究的基础上,综合运用构造回剥技术、平衡剖面技术(包括国际上最新发展的3DMOVE技术)、构造物理模拟技术,以及与地震资料的多种处理和解释技术等来实现对复杂构造合理的解释。

石油大学(北京)在盆地构造研究方面拥有一系列的配套新技术,在盆地构造定量解析方

面、利用平衡剖面技术进行构造演化研究方面,以及构造应力场定量研究方面在国内处于领先水平。

2) 潜山油藏储层裂缝定量表征研究

储层裂缝定量表征预测和评价是油气勘探开发中至今还没有很好解决的世界性难题。目前,国内外在井点描述和平面预测地下储层裂缝参数的现状可概括如下。

(1) 井区储层裂缝定量表征研究 只能观测和探测裂缝的某些参数,主要是方位(组系)、产状、性质、间距(小于井径)、切深(陡倾角裂缝)、开度和充填性;而延伸长度、间距(大于井径)、切深(缓倾角裂缝)无法在井点上直接观测和探测。

(2) 空间裂缝定量表征研究 可预测出研究区一点的裂缝方位、产状、性质,在某些情况下可给出每一点的间距(密度)、切深或者间距、切深、延伸长度、开度的取值范围和分布频率。

(3) 复杂地区环境裂缝定量表征研究 在复杂地区环境中对某些参数的描述和预测还达不到定量的水平,如有时只能描述和预测出裂缝的相对发育层段和发育区。

(4) 直接预测和探测裂缝的方法

① 露头 and 岩心裂缝宏观、微观预测方法。“八五”前露头裂缝研究是以裂缝力学成因和分期配套为主,多侧重裂缝定性分析。“八五”期间,提出了“相似露头区”裂缝观测和分析的思路和方法,对裂缝参数间的定量关系进行了初步研究,通过类比分析,对储层的裂缝参数进行了描述和预测。“九五”期间,在“相似露头区”概念基础上,提出了“相似露头裂缝网络模型”,在一定的条件下可直接或间接地应用到地下储层裂缝的评价和预测中,使裂缝参数的定量研究得到深化和发展。岩心裂缝的观测目前包括非定向岩心裂缝的定向、裂缝间距指数的确定、裂缝发育特征的描述与分析。

② 裂缝方位和现代应力的地球物理测定方法。

③ 测井识别方法。测井识别裂缝的常规方法有声波测井系裂、电阻率测井系列和放射性测井系列等。由于常规测井的多解性,又发展起了新的裂缝测井方法(斯通利波探测裂缝、裂缝识别测井、地层倾角测井等)和解释方法。近年来强调多种测井方法的综合利用。此外,由于新测井方法价格昂贵,因此提出了利用常规测井资料识别裂缝的方法,并研制相应的裂缝检测软件。其中新的裂缝成像测井技术(FMI)和裂缝成像描述技术(FMS)应用到碳酸盐岩中效果较好。

④ 地震检测方法。裂缝的地震检测方法在最近几年刚刚起步,目前主要有:横波探测方法;多波多分量探测方法;三维纵波裂缝检测方法等。

⑤ 动态观测法。利用油田动态资料进行裂缝参数的分析,主要用来确定有效裂缝的方位、推算裂缝的渗透率和裂缝的延伸方向。

(5) 实验预测、探测裂缝研究方法 ① 岩石破裂实验;② 岩石力学参数测定,为定量求取裂缝空间分布和裂缝的参数奠定了基础。

(6) 间接预测、探测裂缝方法 ① 各种地质分析方法;② 概率统计方法;③ 分形方法;④ 物理模拟;⑤ 数值模拟。

(7) 综合预测、探测裂缝方法 20世纪80年代以来的薄板弯曲理论,用主曲率法开展裂缝的数值模拟研究,90年代以来裂缝的模拟有重大进展,将80年代仅适用于预测褶皱产生的张剪性裂缝的板模型差分法发展为可适用于定量预测多种地质构造条件、多层状和块状油藏、条件边界复杂下产生的张性、剪性裂缝的有限元方法。

“八五”前,在描述和预测裂缝时常采用单一方法,只考虑单一影响因素,“八五”以来逐渐

形成了建立储层构造裂缝地质模型统一、综合、全面的思路和方法。可概括为：

①据构造变形分析确定研究区的边界条件。根据地质—力学模型模拟计算研究区的构造应力场,结合岩石破裂准则,确定构造裂缝发育方位、产状、力学性质、组系及发育层段和发育区,最后,根据破裂值和应变能密度,通过标定计算裂缝密度(间距)。

②据露头和岩心观测数据、岩石力学实验研究、测井、动态等裂缝识别结果,用概率统计法、类别法和地质方法进行综合分析,确定裂缝密度(间距)、开度、延伸长度、切深等的取值范围和分布频率。

今后的发展趋势是:①储层的定量描述预测更趋向多学科综合性研究,需多学科、高新技术联合攻关、密切合作;②为实现定量预测要发展概率统计方法和数值模拟方法,并吸收更多的数学方法;③要进一步发展裂缝的各种探测技术和解释方法。

3) 潜山油藏动态地质模型

潜山油藏地质模型的建立,前人做了大量的工作,取得了很好的成果,从查阅的国内外大量文献来看,多数学者是综合应用地质、地震、测井和油藏工程等信息,研究和描述潜山油藏内幕构造、储层几何形态、空间分布、储层非均质性、储层参数变化规律、裂缝发育分布、岩溶作用、流体性质,建立潜山油藏静态地质模型,指导油田开发,尚无开展潜山油藏动态模型、仿真模型和预测模型研究和描述的内容。若能将潜山油藏的静态地质模型与油藏工程信息、试油试采信息、成藏物理模拟、数学模拟及成藏机理相结合,必能建立潜山油藏的动态地质模型、仿真模型和预测模型,必能降低潜山油藏开发成本,改善开发效果,提高潜山油藏开发效益,深化和发展陆相断陷湖盆理论和方法。

2. 潜山油藏开发地震研究现状

开发地震技术近十几年得到了长足的发展,经过国家基金委“八五”油储、“九五”油储重大项目的研究,已取得了一系列重大进展。测井方面,对裂缝有了一系列识别手段,这就为其他地震方法提供了重要的约束条件。井间地震在各向异性层析成像以及反射成像方面进展较大,已有可能提供井间一定范围内反射系数叠加图像。国际上正在对纵横波分离、辐射的方向效应的消除进行深入研究。国内目前使用各向异性介质层析成像的方法还未走向实际,叠前反射成像的方法上还仅限于 CDP 转换方法,井间地震资料与测井资料的衔接、匹配还有较大的问题。

在多波多分量方面,国际上已对 VTI(垂直对称轴横向各向同性,主要模拟层状压实效应产生的各向异性)、HTI(水平对称轴横向各向同性,主要模拟层状地层垂直时的各向异性),以及正交各向异性介质的 AVO、AVA 反射系数矩阵进行了详细研究,找到了反射系数与各向异性参数之间的关系,从而可以估计裂缝的方向、孔缝比例、裂缝的粗糙度等参数。通过观测横波分裂即双折射现象也可确定裂缝带中裂缝的方向,利用准 P 波和准 S 波的共方位角道集处理,可以进行交叉的断裂系统的研究。国内研究主要集中在如何提取各向异性波的正演、共像点道集、对纵横波反射的位置进行一致性校正等方面,各向异性介质中的速度估计有一定难点。国内外正在研究多波多分量振幅的进一步准确化以及与井资料的对比。

在全方位角三维地震方面, XESTGECO 提出 Qland、Qmarine, 去掉检波器组合,用数字信号处理去完成包括组合在内的所有处理,可以得到分辨率很高的成像结果,也大大增加了层间信息。由此将引发叠前(高维)处理取代叠后(低维)处理新的技术革命。随着叠前深度偏移技术的突破,叠前资料高分辨率处理、叠前弹性参数反演的研究成了新的着力点,高维空间数据信号处理方法的研究是重要的原始创新方向。Linux 系统集群式并行机技术将加速这些方法

的集成投产。叠前资料高分辨率处理中,利用超级 S 小波分频叠加和独立分量分析技术已取得较好结果。

国内储层综合研究方面,原始创新和实用化能力都有了较大提高,在对碎屑岩储层随机模拟以及火山岩油气藏研究等方面积累了一些资料和经验,但在深层地震资料处理和解释方面,尤其在碳酸岩、火山岩储层预测、储层描述、裂缝储层随机模拟等方面尚未形成成套的勘探方法和技术。利用叠后数据的结果多,利用叠前数据的结果少。

综上所述,国内近年来自主知识产权的波动方程叠前偏移技术向集成化、产业化迈进了一大步,地面和井中地震原创性研究的基础和氛围逐步形成,但与裂缝油气藏开发地震技术需求仍有一段距离。在这种情况下,裂缝油气藏开发地震技术研究又为地面和井中地震取得创新提供了前所未有的机遇。

3. 潜山油藏裂缝储层测井评价研究现状

国外对复杂潜山油藏储层的测井研究,主要精力放在成像测井技术及可视的处理,并利用成像图件研究储层纵向分布、储层产状、储层类型等,其优点是对储层描述直观,同地质评价结合紧密;缺点是价格昂贵,缺少量化储层参数及含油性评价。在含油性解释方面,国外仍采用均质解释模型,王牌程序仍为 ELAN 最优化测井储层参数分析软件。

需要特别指出的是,核磁测井近几年发展很快,其突出特点是,测量信息不受岩性影响,而直接反映流体在储层中的状态和大小,从而可区分可动流体和束缚流体,取得精确的有效孔隙度和总孔隙度。这两个参数对勘探和开发均十分有价值,是一项很有发展前途的测井新方法。

我国测井软件的基础是德莱赛测井公司的 3700 测井分析软件,常用的程序是:单孔隙度分析程序、泥质砂岩分析程序、复杂岩性分析程序,近年来又从斯伦贝谢公司引进了 ELAN 程序。各油田根据自身的地质特征,对 3700 软件进行了修改,形成了适应本油田地质特点的分析程序。如四川油田将德莱赛公司的复杂岩性分析程序 CRA 改为 CRAC 和 CRAK 程序,以适应川东石炭系雷口坡组特征;长庆油田则根据低孔低渗的地质特征,将德莱赛公司的 CRA 程序改为 CQCRA 处理系统。这些软件,无论是引进的,还是改形的,都以均质解释模型为基础,因此,很难适应非均质复杂岩性、复杂储层测井解释评价的需要。

还需要指出的是,我国各油田测井解释工作,对解释软件的应用方法没有超脱手工解释的解释思路,仍然是综合分析测井曲线,划分解释油气层,然后,按分层结果填写处理参数,运行分析程序,用计算机绘制成果图。这套解释流程,名为数字处理,实为手工解释。解释成果图是手工解释结论的计算机绘图成果。这一解释思路是 20 世纪 80 年代我国引起推广数字处理技术时,缺乏数字处理知识的老人员同缺乏解释工作经验的新人员相互结合的产物,它延续至今,严重影响了现场解释水平的提高。

鉴于国内外研究现状及目前油气勘探由常规油气藏向非常规油气藏发展的大趋势,国内、外学者普遍将注意力集中到低孔、低渗、复杂岩性等非常规油气藏的研究上。对测井解释来讲,探索以非均质模型为主的多模型综合应用的解释方法,常规测井资料同新方法测井资料相结合的解释方法,寻求以经济、有效、直观为特点的测井解释技术,已成为包括火山岩、火山碎屑岩、变质岩及碳酸盐岩在内的非常规油气藏测井解释研究的发展趋势。

该书就是针对勘探开发工作的需要,顺应这一发展趋势的研究项目,具有实际意义及前沿性。

二、潜山油藏动态模型的主要研究内容和特色

潜山油藏动态模型及油藏预测研究,是综合应用石油构造地质学、岩溶地质学、岩石力学、储层地质学、石油地质学、地震地层学、测井地质学、油藏工程和数学地质等多学科理论,将地质、地震、测井、试油试采和油藏工程等信息相结合,露头区和覆盖区相结合、油区、油田和油藏地质模型相结合,最大限度地应用计算机手段,研究、描述和表征目的层6个断块7套储层油藏在内幕构造、储层几何形态、储集空间类型、储集体系形成机制和非均质性,实现露头规模、岩心规模、微观规模裂缝网络定量表征,揭示富台及周缘岩溶作用类型形成机制和分布规律,开展潜山6个断块7套储层裂缝三重孔隙结构测井储层评价,揭示流体性质和分布规律,建立潜山油藏7套储层露头规范、岩心规模静态地质模型,潜山油藏三重孔隙结构地质模型和潜山油藏四维动态模型、仿真模型和预测地质模型,指导油田开发,降低开发成本,大幅度提高潜山油藏开发效益。

本书是以富台潜山下古生界寒武、奥陶系碳酸盐岩为储层的6个断块7套储层三重孔隙结构储层潜山油藏为例,论述潜山油藏在内幕地层发育分布,储层沉积环境、潜山内幕构造格架、断裂体系、四维应力场、流体势场、储集空间模型、储集体系,建立了相似露头规模岩心模型、微观模型、测井储层裂缝网络,揭示了岩溶作用机理及控制因素。建立了潜山油藏动态模型、仿真模型和预测模型,建立了潜山油藏静态、动态、仿真和预测模型研究、描述的配套理论和方法技术,指导油田开发取得了显著的经济效益和社会效益。

本书的主要特色是:

①建立了研究区下古生界7套地层格架,揭示了6个断块7套储层的几何形态和空间分布。

②阐明油区、油田和油藏6个断块内幕构造几何学、运动学和动力学及对富台潜山裂缝储层和油藏形成的控制作用。

③阐明了富台及周缘岩溶地层、岩溶特征、岩溶形态、类型,揭示了岩溶作用控制因素和机理,进行了岩溶期次划分及对富台潜山油藏储层、成藏和油气富集的控制作用。

④建立了富台潜山裂缝油藏燕山、喜马拉雅期至现今四维应力场模型,揭示了四维应力场的空间分布和时间演化及对富台潜山裂缝储层发育部位、层系和成藏的控制作用,给油藏预测奠定了坚实的基础。

⑤建立研究区露头规模、岩心规模、微观规模、测井储层裂缝有效裂缝网络地质模型,预测了富台6个断块7个含油层系有效裂缝网络和油藏的分布规律。

⑥建立研究区有效裂缝网络静态、动态和预测地质模型,指导富台潜山油藏开发,对改善开发效果具有重要的意义。

⑦开展了富台潜山油藏6个断块7套含油层系三重孔隙结构测井储层评价,阐明富台潜山6个断块7套含油层系裂缝储层总孔隙度、基质孔隙度、孔洞孔隙度、裂缝孔隙度和含油饱和度等五类参数的空间分布、变化规律,预测了6个断块7套含油层系有利储层和油藏分布。

⑧建立了富台潜山油藏有效裂缝静态、动态仿真和预测地质模型,成功的预测了油藏的分布,对指导油田开发具有重要意义。

⑨建立了富台潜山油藏成藏模式,揭示了研究区成藏机理、成藏史,揭示了油气富集规律

和控制因素,预测了潜山油藏的分布。

⑩建立了一套潜山油藏静态、动态、仿真和预测模型研究、描述和预测的配套理论、方法技术(图1-1)。

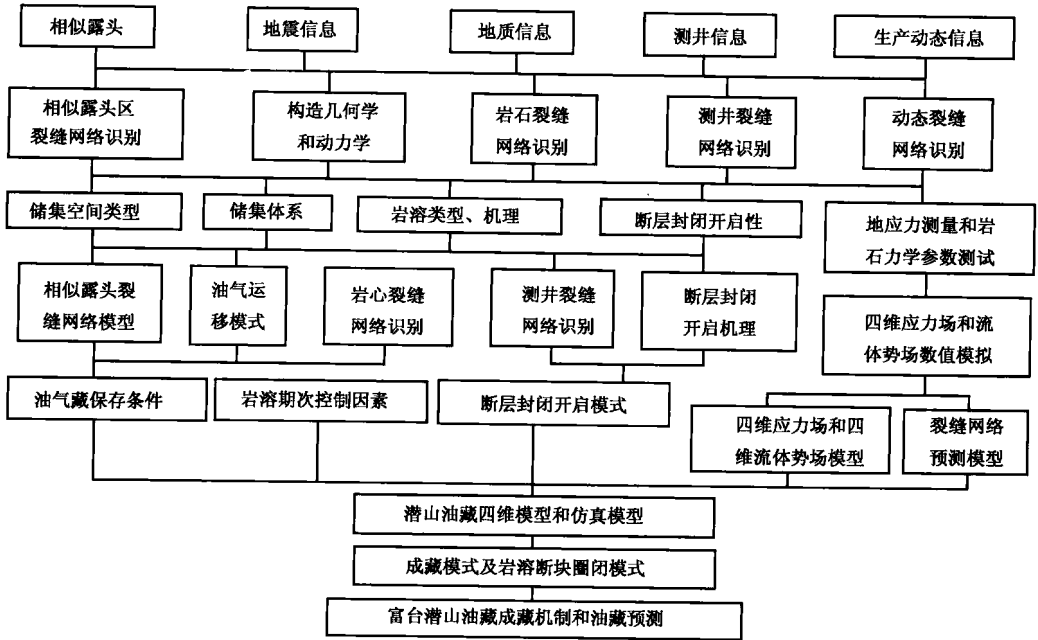


图1-1 富台潜山动态模型及油藏预测研究流程图

第二章 区域构造背景

富台油田位于山东省无棣县车西地区大王北西南部,构造位置位于济阳坳陷车镇凹陷车西洼陷埕南断裂带下降盘(图 2-1),是一古生界潜山油藏。

储层主要是下古生界奥陶系的冶里—亮甲山组、八陡组,其次是上寒武统的凤山组和太古界片麻岩。为了揭示潜山内幕的构造特征和裂缝的分布规律,研究区域构造特征、地质构造演化,优选露头与潜山裂缝的相似性,建立已开发碳酸盐岩潜山油藏与富台潜山油藏之间的成生联系,开展研究区构造分析和对构造模型的建立有重要的意义。建立好构造模型一方面揭示大的构造格架对局部构造(包括裂缝)的形成和演化起着控制作用,另一方面,构造特征及构造演化的正确分析是地质类比分析、裂缝数值模拟的基础。下面从奥陶系岩性特征及沉积环境、地质构造特征和构造演化加以论述。

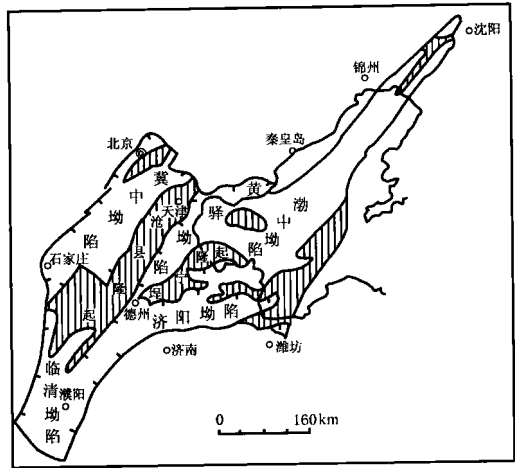


图 2-1 渤海湾盆地构造单元分布简图

一、沾化凹陷地层格架和沉积体系

沾化凹陷是在前第三系基底背景上发育起来的第三纪凹陷。地层发育较全,从太古界的片麻岩到古生界的碳酸盐岩、页岩、薄煤层、砂泥岩互层,中生界的火成岩、砂、泥岩互层,第三系的砂、泥岩互层以及第四系的砂、泥岩互层都发育较好(图 2-2)。本区钻遇的地层有下第三系的沙河街组、东营组,上第三系的馆陶组、明化镇组以及第四系的平原组,各组地层特征如下。

沙四段上部地层主要为半闭塞的潟湖沉积,地层以灰质泥岩、灰岩与簿层砂岩互层为主,湖盆中心发育膏岩沉积,在湖岸带受古地形的控制常发育有生物灰岩、藻灰岩,在斜坡带相变为砾状砂岩或含砾砂岩(图 2-3)。沙三段为深湖—半深湖沉积环境,地层以灰色泥岩、油页岩、油泥岩为主,与沙四段为连续沉积。沙三段分上、中、下三段,地层总厚度 350 ~ 1400m,与上覆沙二段呈不整合关系。沙三早期湖盆进入稳定发展期,气候湿润,湖底广阔,以静水沉积的细粒成分为主(图 2-4),自下而上先后沉积了四套油页岩,在第三套油页岩顶发育一套浅灰色低阻泥岩,称为“稳定泥岩段”;沙三中亚段的下部以第二套油页岩为主,沙三中亚段的上部出现砂岩和泥岩间互沉积;沙三段上部随湖域退缩,地层分布范围变小,在斜坡带地层变薄以至缺失。沙二段湖盆中心以暗色泥岩及白云质、灰质泥岩为主。在湖盆斜坡带以厚层砂岩、砂砾岩体为主,地层厚度不大,约 100 ~ 190m,与沙一段呈不整合接触。沙一段是深水—半深水湖相还原环境,上部为灰色灰质泥岩或泥灰岩沉积,下部为油页岩,底部常有一套生物灰岩。沉积中心在四扣洼陷一带,地层厚 50 ~ 300m,与沙二段在洼陷中心为假整合接触。东营组主要

界	系			地層符号	示意图	地層厚度 (m)	标准反射层	岩性特征	沉积环境	
	系	统	组							
新生界	第四系	全新统	平原组	Q	[Diagram]	250~350	T ₀	灰黄色泥岩夹粉砂岩	泛滥平原	
			明镇组	Nm	[Diagram]	300~800	T ₀	棕黄、灰色泥岩夹粉砂岩	河流、泛滥平原	
		中新统	馆陶组	Ng	[Diagram]	400~700	T ₁	上段: 灰白色砂岩夹红色、灰绿色泥岩 下段: 灰白色块状含砾砂岩夹红色、灰绿色泥岩	河流、泛滥平原	
			东营组	Ed	[Diagram]	400~600	T ₁	上部含砾砂岩、砂岩夹灰色、灰绿色泥岩 下部灰色泥岩夹薄层砂岩	浅湖、扇三角洲	
	渐新统	沙一段-沙二段	沙一段	Es ₁	[Diagram]	200~300	T ₂	灰色油页岩、泥岩、底部夹白云岩、生物灰岩	半深湖	
			沙二段	Es ₂	[Diagram]	80~120	T ₂	灰色、紫红色泥岩夹砂岩	滨浅湖、扇三角洲	
		沙河街组	沙三段	Es ₃	[Diagram]	500~700	T ₆	深灰色油页岩、油泥岩、泥岩, 局部夹薄层砂岩	深湖-半深湖、水下扇、浊积扇	
			沙四上段	Es ₃ F	[Diagram]	100~300	T ₇	深灰色泥岩、灰岩和膏岩, 局部为砂砾岩	半封闭咸化海湖、水下冲积扇	
	始新统	沙四下段	沙四下段	Es ₄ F	[Diagram]	>1000	T ₈	紫红色、灰色泥岩夹砂岩、含砾砂岩, 局部发育薄层膏岩	山麓冲积、洪积	
			沙四下段	J ₁ -k	[Diagram]	>2000	T ₈	红色、杂色砂砾岩夹泥岩, 上部见大量中性喷出岩	火山喷发、山麓冲积、洪积	
		中生界	上白垩统		J ₁ -k	[Diagram]	>2000	T ₈	红色、杂色砂砾岩夹泥岩, 上部见大量中性喷出岩	火山喷发、山麓冲积、洪积
					J ₁ -a	[Diagram]	250~350	T ₉	灰色砂砾岩夹暗红色泥岩, 底部发育厚煤层	沼泽-河流
古生界	石炭-二叠系	寒武奥陶系		C-P	[Diagram]	300~600	T ₁₀	灰白色石英砂岩夹泥岩和薄层灰岩, 下部发育煤层	海陆交互、河流	
				Є-O	[Diagram]	1000~1200	T ₁₁	灰色碳酸盐岩夹页岩	广海-局限海	

图 2-2 沾化凹陷地层格架

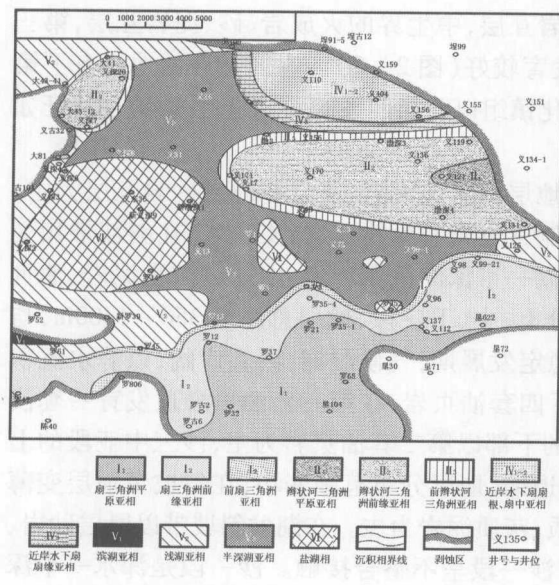


图 2-3 沾化凹陷沙四段沉积相带图

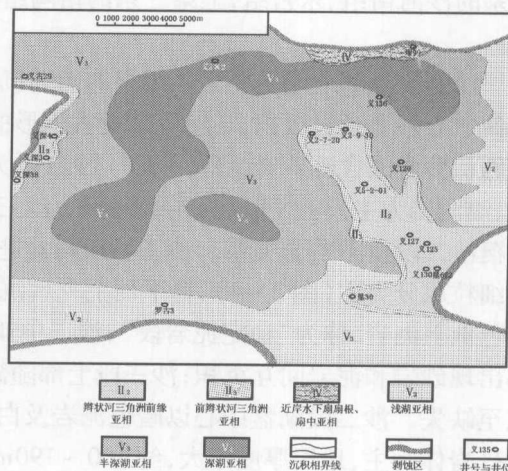


图 2-4 沾化凹陷沙三段沉积相

是滨浅湖、三角洲—河流相沉积，下部以灰色泥岩、泥灰岩为主，上部以砂岩、砂砾岩为主夹泥岩互层，与下伏沙一段呈整合接触，地层厚 200 ~ 900m。馆陶组为河流相沉积，下段为厚层块状砂岩、砂砾岩，上段为砂岩与泥岩互层，砂岩颗粒相对变细，厚 500 ~ 900m，与东营组为区域角度不整合接触。

从沙四、沙三、沙二段地层组合可见本区湖盆从形成到发展直到衰亡的一个完整过程。本区普遍缺失沙三上亚段至沙二下亚段，说明沙三末期地壳普遍抬升，湖水后退，从沙四段—沙三上亚段是一个完整的沉积旋回。从沙一段到东营组，水体再次扩大，出现半深—深湖相沉积至浅湖相泥岩，直至东营末期，断陷湖盆逐渐填平消亡。

二、沾化凹陷构造概述

济阳坳陷是位于渤海湾盆地西南部的次级含油气盆地。东以郯庐断裂与鲁东隆起相邻，西北与黄骅和渤中坳陷相邻，南以济河—广饶断裂鲁西隆起为界，西南部与临清坳陷相连，是叠置在华北克拉通基底上的中生代陆相断陷湖盆，中生代以来构造演化、油气成藏主要受太行山断裂、沧东断裂和郯庐断裂控制。各坳陷内又被众多不同级序的 NE、NEE 和 NW 向的基底断裂控制，形成凹凸相间、左行燕列、向南西收敛、向北东撒开的帚状展布。济阳坳陷地质格架和演化及油气成藏均受该帚状构造体系的控制。

据济阳坳陷地层学、构造几何学特征，可划分为四大构造层，各构造层均有各自独特的特征、构造岩性组合，各构造特征、时代、组合见表 2-1。

表 2-1 济阳坳陷构造层简表(据宗国洪等,1995)

构造图	地层层序		地震标志层	绝对年龄 (Ma)	沉积速率 (mm/ka)	火成岩特征	构造动力学特征		
顶层 (N)	IV ₂	Q	Qp		2.0	Kennedy系列强碱性有Ne标准分子霞石碱玄武岩	断裂活动较弱,整体坳陷为特征,披覆背斜发育		
		N	N _{am}	T ₀	5.0				
	IV ₁		N _{1g}	T ₁	24.6				
上层 (III)	III ₃	Kz	E	E _{3d}		129	Coombs系列拉斑玄武岩,含Hy及Q标准分子,局部有安山岩	NE、NEE、NW及NNW向断层及其控制的半地堑发育,断裂带滚动背斜、同沉积拖曳褶皱及调节背斜、调节地垒发育,NW向断裂及其控制的半地堑渐次消失,SN向断裂渐趋消失	
				E _{3s1}	T ₂				37.0
				E _{2-3s2}	T ₃				
				E _{2s2} ^F	T ₆				237
				E _{2s3}	T ₇				
	III ₂	III ₁	E _{1-2k}	E _{2s4}	T ₈	260			
	E _{2k1}			T _R	65.0				
	E _{1-2k2}								
	E _{1k3}								
	II ₃			Mz	K				K ₂
II ₂	K ₁	T _J	135						
II ₁	J ₃		149						
下层 (II)	Pz	J	J ₁₋₂	T _P	190	< 10	安第斯型挤压拼贴 被动大陆边缘		
				C-P	T _{G1}			350	
				ε-O	T _{G2}			570	
				Ar				2500	
基础层 (I)	Ar	Ar	Art			?	安第斯型挤压拼贴		

