

东营凹陷沙三段岩性油气藏 成藏理论及实践

宋书君 编著



DONGYING AOXIAN SHASANDUAN YANXING
YOUQICANG CHENGCHANG LILUN JI SHIJIAN

石油工业出版社

东营凹陷沙三段岩性油气藏 成藏理论及实践

宋书君 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书在论述东营凹陷沙三段岩性油气藏形成背景、砂体成因类型及分布规律的基础上,描述了东营凹陷沙三段低渗透岩性储层特征、沙三段烃源岩分布规律及特征,建立了东营凹陷沙三段岩性油气藏成藏模式及分布规律,阐述了东营凹陷沙三段岩性油气藏类型及特征,论述了东营凹陷沙三段岩性油气藏成藏理论和方法技术,并将该理论运用于勘探开发实践。

本书可供油田勘探开发工作者、科研院所及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

东营凹陷沙三段岩性油气藏成藏理论及实践 / 宋书君编著.

北京: 石油工业出版社, 2008. 3

ISBN 978 - 7 - 5021 - 6429 - 4

I. 东…

II. 宋…

III. ①拗陷 - 岩性油气藏 - 形成 - 东营市

②拗陷 - 岩性油气藏 - 油气勘探 - 东营市

IV. P618. 130. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 202623 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.cn

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 12.5

字数: 318 千字 印数: 1—1000 册

定价: 56.00 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

《东营凹陷沙三段岩性油气藏成藏理论及实践》一书经胜利油田现河采油厂地质工作者的不懈努力，终于和大家见面了。这是现河采油厂油气勘探史上的一件大事，该书的公开出版必将引起岩性油气藏地质工作者的广泛瞩目和兴趣。

东营凹陷是一个油气资源十分丰富的陆相断陷盆地，沙三段是重要的岩性油气藏勘探潜力目标。本书作者以多年勘探开发工作实践为基础，在充分掌握资料的基础上，将最新理论应用于油田勘探开发实践，以东营凹陷沙三段油气藏为例，从东营凹陷沙三段形成的地质背景、砂体成因类型及分布规律、储层特征及分布规律、烃源岩类型及分布规律与成因机制、油气成藏规律及模式等方面，详细分析并阐述了东营凹陷沙三段油气藏类型及分布规律。

本书在系统总结和归纳东营凹陷沙三段区域构造背景、沉积背景及演化的基础上，研究并论述了东营凹陷沙三段三角洲、浊积岩、近岸水下扇、扇三角洲等砂体成因类型及分布规律，介绍了东营凹陷沙三段沉积环境及识别标志，阐明了各类砂体的成因类型及分布规律。对东营凹陷沙三段储层岩石类型及特征进行了系统归纳和总结，进而阐述了沙三段储层物性特征、控制因素及分布规律。对东营凹陷沙三段烃源岩层的沉积学特征进行了深入分析，论述了东营凹陷沙三段烃源岩的有机质类型及丰度，探讨了烃源岩成熟演化。在充分认识东营凹陷沙三段油气藏类型及特征的基础上，研究了东营凹陷沙三段油气输导体系，分析了东营凹陷沙三段油气成藏期次，探讨了东营凹陷沙三段油气富集规律及控制因素，建立了东营凹陷沙三段岩性油气成藏模式。本书最后对东营凹陷沙三段岩性油气藏勘探理论和方法技术进行了探讨，并运用实例对东营凹陷沙三段岩性油气藏勘探理论和方法技术进行了分析。

本书是参与现河采油厂勘探开发的广大技术人员集体智慧的结晶。现河采油厂科研人员付出了辛勤的劳动，在此表示衷心感谢。

由于笔者水平有限，自知“吾生也有涯，而知也无涯，管窥蠡测”，书中不妥之处，敬请读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 目的和意义	(1)
第二节 国内外研究现状	(1)
第三节 东营凹陷岩性油气藏研究状况	(5)
第四节 本书主要成果	(5)
第二章 东营凹陷沙三段地质背景	(7)
第一节 区域构造背景及演化	(8)
第二节 地层格架	(19)
第三节 沉积背景	(23)
第四节 古近系岩性油气藏勘探开发历程	(26)
第三章 东营凹陷沙三段沉积环境及砂体成因类型	(28)
第一节 沉积环境及其识别标志	(28)
第二节 三角洲砂体成因类型及展布	(31)
第三节 浊积岩砂体成因类型及展布	(38)
第四节 近岸水下扇砂体成因类型及展布	(47)
第五节 扇三角洲砂体成因类型及分布	(51)
第六节 沉积体系演化	(55)
第四章 东营凹陷沙三段储层特征及分布规律	(57)
第一节 储层岩石类型及特征	(57)
第二节 储层物性特征	(62)
第三节 储层微观特征	(75)
第四节 储层非均质特征	(88)
第五节 储层敏感性分析	(91)
第五章 东营凹陷沙三段烃源岩研究	(94)
第一节 沉积学特征	(94)
第二节 有机质类型及丰度	(98)
第三节 有效烃源岩研究	(104)
第四节 烃源岩成熟度分析	(110)
第五节 烃源岩地球化学特征	(115)
第六节 油源对比	(119)

第六章 东营凹陷沙三段岩性油藏成藏规律及模式	(123)
第一节 油藏类型及特征	(123)
第二节 油气输导体系及成藏期次	(128)
第三节 油气富集规律及控制因素	(144)
第四节 油气成藏模式及典型实例	(155)
第七章 东营凹陷沙三段岩性油气藏勘探技术及实例分析	(166)
第一节 岩性油气藏砂体识别及预测技术	(166)
第二节 测井约束反演储层预测技术	(172)
第三节 相干分析	(179)
第四节 砂体的定量描述	(182)
第五节 实例分析	(187)
参考文献	(193)

第一章 绪 论

第一节 目的和意义

我国东部含油气区主要分布在陆相生油盆地中, 新中国成立以来经过几代石油地质工作者的努力, 大庆、胜利等一大批复式油气富集区, 特别是胜利油区, 经过 40 多年的勘探实践, 不仅找到了 70 余个油气田, 也丰富了陆相石油地质勘探理论。但是随着由大型构造油气藏的勘探向着隐蔽油气藏特别是岩性油气藏勘探的转变, 油气勘探的难度也越来越大。另一方面, 岩性油气藏的勘探迫切需要有新的石油地质理论的指导, 岩性油气藏的形成机理又一直是困扰石油地质家的问题。因此, 这方面研究及理论和经验的总结对岩性油气藏勘探具有重要意义。

东营凹陷属于渤海湾中、新生代裂谷盆地三级负向构造单元, 是中国东部陆相箕状断陷湖盆的典型代表, 具有北断南超的开阔型箕状凹陷特征。该凹陷是在古生界基岩古地形背景上经构造运动发育起来的中、新生代断陷—坳陷湖盆。中生代后期至古近纪, 凹陷北部的陈南大断裂活动强烈, 落差大, 南部断层活动较弱, 落差小, 形成北陡南缓的箕状断陷湖盆, 凹陷面积约为 5700km^2 。东营凹陷古近系和新近系发育多套生储盖组合, 具备良好的成藏条件。特别是古近系发育巨厚的沙四上—沙三段生油岩系, 具有丰富的油气资源, 这就决定了东营凹陷是一个油气非常富集的含油气凹陷。经过 40 余年的勘探实践, 发现了除水动力圈闭以外的各种圈闭类型油气藏, 特别是发现了胜坨逆牵引背斜油气藏、东辛中央断裂背斜油气藏、牛庄透镜体岩性油藏等储量在亿吨以上或近亿吨的大型油气田。这些油气田均已投入开发多年, 积累了大量包括生油岩地化指标、储层沉积相和沉积微相、储层孔隙度、孔喉半径、润湿性、渗透率、盖层突破压力、圈闭构造发育史及油藏开发过程中的油、气、水在内的大量资料。

东营凹陷沙三段是重要的岩性油气藏发育层段, 通过开展东营凹陷沙三段层序地层、沉积体系、储层描述等为内容的基本地质特征研究, 重点对东营凹陷沙三段岩性油气藏成藏机理, 特别是岩性油气藏形成时一次运移的成藏动力学原理进行分析。本书的目的, 就是要对东营凹陷典型的岩性油气藏成藏机理做出定量的解释, 并形成具有陆相断陷盆地特色的油气成藏理论。

第二节 国内外研究现状

岩性油气藏是含油气盆地进入中后期勘探阶段的主要勘探目标, 由于岩性油气藏形成机制和分布规律复杂、勘探难度大、技术要求高, 勘探上具有高难度和高风险的特点。针对这类油气藏的勘探技术和理论一直是石油地质家研究和探索的重要内容。20 世纪六七十年代随着岩相古地理分析和沉积体系分析方法的发展和成熟, 在世界各地含油气盆地的勘探应用也取得突破性成果, 国内外发现了许多大中型油气藏(田), 例如前苏联北高加索海西期亚

速一班库含油气盆地南部斜坡带发现了上倾尖灭的哈德砂岩岩性油气聚集带,加拿大阿尔伯达盆地斜坡带发现了帕宾纳砂岩上倾尖灭油气聚集带,我国松辽盆地三肇凹陷也找到透镜状砂岩油气聚集带(即葡萄花油层)。胜利油田的40余年勘探实践和研究中也发现了许多岩性油气藏,如东营凹陷先后发现的梁家楼油田、牛庄油田、樊家油田、史南油田的史深100砂岩体以及东辛油田的营11砂岩体,都属于岩性油气藏(田)。

在岩性油气藏勘探的同时,相应的石油地质理论和勘探技术也在迅速发展,与岩性油气藏勘探相关的新理论和新方法不断取得重大突破,如层序地层学、含油气系统、成藏动力学、油藏描述、储层地震解释与追踪技术等。

一、成藏机理研究

进入20世纪90年代以来,国内外对油气成藏机理研究已经成为热点,也取得了许多重要成果。这些成果涉及到含油气系统、异常流体压力封存箱,以及油气藏形成过程中的动力学等方面问题。许多学者提出了一些新的观点,无论在油气的初次、二次运移中的动力学原理,还是在运移的实验方面都有许多新的认识。在油气初次运移、流体势分析引入含油气凹陷系统、油气生成运移聚集一体化研究方法上都取得很大进展。含油气系统和异常流体压力封存箱的提出,使得油气成藏理论研究提高到一个新水平。另外,关于油气初次运移机理,许多学者提出过不同的见解,李明诚(1994)对此做了总结,归纳为9种。流体压力封存箱理论自Hunt提出后,混相涌流概念已被国内一些学者接受。王新洲在流体间歇压裂运移的模拟实验的基础上建立了涌流运移的数学模型。黄志龙等认为,天然气运移有扩散、渗流、混相涌流3种机理。张义纲等又强调了水溶对流的重要性,在此基础上论述了水溶对流、水溶泄流、单相渗流、混相涌流等运移机制成因上的关系和条件。

岩性油气藏成藏机理方面的研究始终是石油地质学研究的重要课题,油气成藏过程包括油气的生成、运移、聚集以及保存多个环节。油气藏形成理论是石油地质学的核心,这些理论是伴随着石油和天然气的勘探和开发而提出并不断完善的。可以说,从石油工业诞生以来,油气成藏理论一直是石油地质学家们孜孜探索的基础理论问题,也是油气勘探家们极为关注的问题。因此,国内外许多学者致力于油气成藏机制的研究,取得了大量研究成果。尽管如此,由于成藏问题十分复杂,涉及到石油与天然气地质学研究的方方面面,因而研究难度很大。许多油气生成、运移、聚集和保存中的重大理论问题尚未完全定论。因此,油气成藏机制问题仍是石油地质研究中最薄弱的环节。随着由大型构造油气藏的勘探向着隐蔽油气藏特别是岩性油气藏勘探的转变,油气勘探的难度也越来越大,而岩性油气藏的形成机理又一直是困扰石油地质家的问题。例如,在东营凹陷近年来的油气勘探中,由于地震地质综合解释技术的提高,基本上可以准确地钻到钻前所预测的砂岩体,但是砂体的含油性却大相径庭。有的砂体含油程度很高甚至整个砂体含油,有的砂体在中高部位的一半面积内含油,还有一些砂体仅仅在高部位含油,甚至有的砂体不含油。勘探实践给人们提出了一个现实问题,在环境与性质基本相同的岩性圈闭中为什么含油性会有如此大的差别。

国内外关于油气成藏理论的研究,目前大多还停留在定性描述和推理阶段。有许多重大理论问题等待解决,如油气成藏的动力学机制、各种圈闭中油气聚集的机理、油气的散失量和聚集量的定量关系等,都还处于推测阶段。油气二次运移聚集模拟实验还不能模拟地下温压环境下的真实情况,天然气成藏的特殊性还研究得不够等。这些问题的解决与否,直接影响着油气勘探的成效。因此,开展油气成藏机制研究,解决一些制约油气勘探的重大理论问

题已成为石油与天然气地质学工作者亟待攻关的目标。

二、岩性油气藏勘探理论研究现状

岩性油气藏勘探研究的理论基础是有等时地层意义的“层序地层学”及“沉积体系和微相分析”，“含油气系统”和“成藏体系”研究等。

作为地质学前沿的层序地层学是20世纪70年代末开始出现的，是在地震地层学的基础上发展起来的，已成为地质学最热门的课题。80年代后，美国埃克森石油公司以Vail为首的研究集体，以层序地层学的思想为指导，进行了大量实际工作，利用层序地层学、磁性地层、年代地层以及生物地层中所反映出的海平面变化和同位素年龄等大量资料，编制了中生代以来的年代地层和海平面旋回曲线图，确定了不整合面、海平面变化的概念，并强调地质剖面、测井和地面露头的综合研究，是识别海平面变化的重要手段。1991年，Vail等发表了《构造运动、全球海平面升降及沉积作用的地层标志综述》，再次强调，地层层序是由构造运动、全球海平面升降、沉积作用和气候变化等地质因素相互作用而产生的；同时，也突出了不同级别构造运动对地层层序的影响，提出了一整套将层序地层分析、沉降史分析和构造地层分析相结合、互为补充的综合地层分析方法，以此奠定了层序地层学的研究内容及其在地质学中的前沿地位。1989年以来的历届AAPG年会以及1996年第29届国际地质大会上，层序地层学都成为重要的讨论内容。特别是在石油勘探领域，应用这一新的理论体系和方法，能够有效地阐明生、储、盖层的配置规律，提高勘探家的理论和实际预测能力。在世界各地的实际应用中，已经在储集砂体的预测特别是低位域底界面上的深切谷充填砂体的预测取得了极大的成功。如Amoco石油公司根据层序地层学研究，在Beanfort海和阿拉斯加发现了新的靶区，同时在尼日尔三角洲地区应用墨西哥湾盆地的模式和经验，在新的地震、钻井资料的基础上完成了一系列层序地层大剖面，从而发现了大量有经济价值的油气圈闭。因此，前AAPG主席P. Weimer指出：层序地层学应用以来开辟了重要的找油新领域即层序界面上谷地充填砂体。

在我国，早在20世纪80年代后期，地震地层学的理论和方法已在石油部门率先应用。国外专著先后被翻译成中文版，徐怀大、魏家庸、李思田和刘宝珩等研究者在石油、区域调查、煤田和盆地分析方面都引入这一理论并做了许多开创性工作。1992年，国家科委正式批准以王鸿祯院士为首的、以层序地层及海平面变化研究为主要研究内容的国家基础性重大研究课题“中国古大陆及其边缘层序和海平面变化研究”。1997年由中国石油学会石油地质专业委员会发起“层序地层学与油气勘探”学术会议，广泛讨论了层序地层学在我国石油勘探中的应用发展和取得的效果。胜利石油管理局在1995年完成了济阳拗陷层序的初步研究，在指导勘探部署上起到了积极作用，但工作欠系统和深入，需要进一步加大基础和应用研究。

三、成藏动力学研究现状

根据田世澄（1996）对成藏动力学的定义，成藏动力系统是指具有相同成藏条件的油气运移和聚集单元，成藏动力系统分析以成熟生油岩分布为基础，以油气运移和聚集的驱动力和作用过程为核心，分析油气分布规律，直接为油气勘探工作服务。在研究陆相含油气盆地成藏动力学时，由于陆相断陷盆地内常被多套压力系统分隔为多个相对独立的流体运动单元，又被垂向通道或超压层归并而联络，所以为了更好地认识成藏规律，可按压力系统划分

出若干成藏动力子系统。

对于成藏动力系统研究,应以生油岩分布和有机质成熟阶段为基础,通过埋藏史和构造发育史分析成熟生油岩、储盖组合、圈闭和通道的有机配置及成藏历史。基本成藏模式及其分布的研究是分析有利复式油气聚集带的关键。成藏动力学研究主要包括基础地质研究、埋藏史和构造演化史分析、成藏动力分析等方面内容。基础地质研究需要搞清楚综合剖面图和平面纲要图反映成藏要素的剖面和平面配置,埋藏史分析的目的是概括出成藏动力系统的基础地质条件,构造演化史分析的任务则是通过建立与圈闭形成演化、生烃和运聚有重要影响时期的构造演化剖面,标出生烃、大量生烃和异常超压3条门限。成藏动力分析应该建立油气藏的成藏模式,以及成藏时期油气进入圈闭阶段的动力学原理和过程。

根据田世澄(1996)的观点,成藏动力学系统中的动力源泉,主要来自地球深部动力学、沉积盆地岩石内部的流体压力和岩石内孔隙间流体流动时发生的各种作用力、地表水淋滤渗入的水动力作用3个方面。深部动力学过程所产生的热传导、热对流,放射性物质的衰变所产生的热动力,壳幔物质接触或进行成藏动力学系统所带来的热流和新生流体等,是成藏动力学系统的区域动力学背景,它的动力学作用方向是由深部到浅部。沉积盆地沉积地层内部的流体压力的形成原因包括沉积动力学、压实作用所产生的压实流体,随埋深增加水体膨胀所产生的水热增压作用,粘土矿物转化和烃的形成造成容器密度变化和新生流体产生的增压作用。岩石内孔隙间流体流动时发生的各种作用力包括岩石孔隙中流体与固体的相互作用、流体中的浮力、多孔介质中的毛细管阻力、粘土矿物的吸附力等的叠加效应等。沉积盆地岩石内部的流体压力和岩石内孔隙间流体流动时发生的各种作用力的作用方向是由高势区到低势区,由深部到浅部,由盆地的中心向盆地边缘。地表水淋滤渗入的水动力作用的动力学方向是由浅层到深层,从边缘向盆地的中心,与压实流体的运动方向相反。

田世澄(1996)根据动力学特征,将渤海湾盆地成藏动力学系统分为开放型、封闭型、半封闭型3种类型。开放型成藏动力学系统的流体动力学特征是由地下压实流体系统逐渐形成,并与地表渗滤形成的地下水动力学系统相互连通、相互作用,温压场一般较低,以异常压力界面或不整合面与下伏系统相分隔。封闭型成藏动力学系统的特征是本身构成了一个封闭的成藏动力学系统,油气的生成、运移、聚集过程均在系统内进行。系统内的烃源层,在温压场和有效加热时间的控制下经过倾泄动力学作用而成熟、成烃。排烃的主要动力来自烃源层内自身的能量积累,排烃可以多种模式进行,既有受控于含油饱和度变化的连续烃相排烃,也有受控于异常孔隙流体压力积累,导致烃源层破裂产生微裂隙,以幕式突破混相排烃;在输导层中的运动主要受控于系统内压实流的水势、油势及气势。由于受异常压力界面的限制,只能在系统内侧向运移,并在低热区有利的圈闭中聚集。半封闭型成藏动力学系统的特征是本身构成了一个封闭的成藏动力学系统,油气的生成、运移和部分聚集过程在本系统内进行,又通过断层、不整合面等通道与其他的成藏动力学系统或地表相沟通,即可以使外系统的流体和地表水进入本系统,改变系统内的动力环境和条件,形成和影响油气的聚集。

四、岩性油藏预测研究现状

岩性油藏预测包括逼近地下实际的地质建模的建立和行之有效的地球物理描述技术。地质建模包括充分应用钻井、测井、岩心测试分析资料进行综合分析后提出的地下地质体的概念模型。这里值得重视的是构造岩相带的配置规律及理论体系的深入认识。不同成因类型的

盆地有不同的构造发育演化规律,也就形成不同类型的构造带;同样,不同成因类型盆地构造带上发育有不同的沉积体系类型即不同的岩相类型。而相同成因类型盆地同一类型构造带上可分布于几乎相同的岩相类型,这就为区带岩相规律分布提供了预测基础。地质建模后有针对性地选择行之有效的地球物理方法,对地下地质体的三维形态乃至内部流体类型进行描述和预测。目前应用广泛的地球物理方法有:测井约束反演、Glog、Delog、道积分、时频分析、振幅—频率联合反演、多参数提取和人工神经网络法等,其中测井约束反演是最有效的方法。这是一种基于模型的波阻抗反演技术,充分利用测井资料在垂向上的分辨率和地震资料在横向上的可追踪性的综合优势,以地震资料解释的层位控制从井点出发进行外推内插,形成初始波阻抗模型;然后利用共轭梯度法,对初始波阻抗模型不断进行更新,使得模型的合成记录最佳逼近于实际地震记录,此时的波阻抗模型便是反演结果。这一方法现已广泛应用于岩性油气藏勘探中的砂体描述与预测研究。

第三节 东营凹陷岩性油气藏研究状况

这里需要特别指出,由于胜利油区特殊的地质条件和近20年的勘探实践及理论探索,使得胜利油田岩性油气藏勘探技术在国内较为成熟,理论研究水平也较高。20多年来胜利油田发现的岩性油气藏石油地质储量在各年度新增石油地质储量中的比例逐年提高,在对岩性油气藏的研究力度也在不断加大。笔者在东营凹陷成藏条件研究中发现,仅仅对岩性油气藏进行动力学分析还不能完全解决成藏问题,因而对成藏阻力作了初步探讨,提出了等效排烃压力和岩性油气藏成藏指数的概念。

“七五”期间,胜利油田在国内开始引进了层序地层学方法。“八五”期间以东营中北带为试验区进行了初步研究,对砂砾岩体评价取得认识上的突破,从而打破了东营凹陷北带砂砾体久攻不克的局面。以该成果为依托,近年来在东营凹陷北带探明和控制石油地质储量 $5000 \times 10^4 \text{ t}$ 以上,勘探经济效益非常显著。“九五”期间,胜利油田开始了对济阳拗陷古近系沙河街组和东营组沉积、构造及含油性特征进行全面研究解剖。经过近3年的研究取得以下重要进展:①基本建立了高频(三级,局部到四级)层序地层格架,在“八五”成果基础上前进了一大步。该层序地层格架不仅符合美国Exxon公司提出的标准层序原型,而且该项成果提出的三级层序地层时间格架与北海盆地和墨西哥湾盆地等世界标准盆地的高频层序地层格架具可比性。②初步提出了“低位扇”和“坡折带”理论。这不仅使得砂体预测的空间位置更准确,而且其成因类型更清楚。随着项目基础地质研究和勘探生产部署的同步滚动,“低位扇”和“坡折带”业已成为预测和描述砂体的重要理论武器。③通过流体势分析,基本勾画了济阳拗陷成藏组合体边界,初步进行了成藏要素分析。研究表明三级层序低位扇含油性最好,断裂坡折带是低位扇发育的有利地带。

第四节 本书主要成果

本书以东营凹陷沙三段油气藏为例,从东营凹陷沙三段形成背景、砂体成因类型及分布规律、储层特征及分布规律、烃源岩类型及分布规律与成因机制、油气成藏规律及模式等方面,详细分析并阐述了东营凹陷沙三段油气藏类型及分布规律,主要有以下创新:

(1) 系统而详细地总结和论述了东营凹陷沙三段区域构造背景、沉积背景及演化,阐

述了东营凹陷沙三段地层格架。

(2) 根据大量探井资料,详细研究并论述了东营凹陷沙三段砂体成因类型及分布规律,认为东营凹陷沙三段主要沉积体系有:三角洲沉积体系、近岸水下扇沉积体系、浊积岩沉积体系、扇三角洲沉积体系、湖底扇沉积体系、滨浅湖沉积体系、半深湖和深湖沉积体系等,其中三角洲前缘砂体及滑塌浊积岩砂体是最为有利的储集岩体。阐述了东营凹陷沙三段沉积环境和识别标志,以及各类砂体的成因类型和分布规律。

(3) 系统论述了东营凹陷沙三段储层岩石类型及特征,阐述了沙三段储层物性特征、控制因素及分布规律,从成岩作用、孔隙结构等方面对沙三段储层微观特征进行了深入分析和评价,研究了储层非均质性及其对储层性质的影响。

(4) 运用大量的地球化学资料对东营凹陷沙三段烃源岩层进行了深入分析,认为沙三段是东营凹陷最重要的烃源岩发育层位,具有丰富的油气资源。阐述了东营凹陷沙三段烃源岩层的沉积学特征、有机质类型及丰度,并对东营凹陷沙三段有效烃源岩层进行了深入分析,认为东营凹陷沙三下亚段烃源岩层是最有效的烃源岩层。探讨了烃源岩成熟演化,讨论了东营凹陷沙三段油源对比问题。

(5) 阐述了东营凹陷沙三段油气藏类型及特征,研究了东营凹陷沙三段油气输导体系,分析了东营凹陷沙三段油气成藏期次,探讨了东营凹陷沙三段油气富集规律及控制因素,建立了东营凹陷沙三段油气成藏模式。

(6) 讨论了东营凹陷沙三段岩性油气藏勘探理论和方法技术。

第二章 东营凹陷沙三段地质背景

东营凹陷是一个油气资源十分丰富的陆相断陷盆地，经过 40 多年的勘探，已经探明石油地质储量 $20 \times 10^8 \text{t}$ ，占胜利油区总探明储量的一半，而且目前的年探明储量仍接近济阳坳陷年总探明储量的一半，起到了主力探区作用。胜利油田的勘探首先在东营凹陷突破出油关（华 8 井），首先在东营凹陷探明大型构造油田（胜坨油田），首先在东营凹陷发现高压岩性油藏（营 2 井）、地层油气藏（单家寺油田），首先在陆相盆地中应用层序地层学、含油气系统理论指导勘探，起到了勘探示范区作用。

东营凹陷属于渤海湾盆地济阳坳陷中的一个中、新生代形成的低级序陆相断陷湖盆，是冀鲁帚状构造体系内旋层中的一个低级序旋回层，位于济阳坳陷的东南部，南靠鲁西隆起，北接陈家庄凸起，东为垦东青坨子凸起，西有滨县、青城凸起，是一个四周由凸起环绕，并与其他凹陷相通的中、新生代断陷复合盆地（图 2-1）。东营凹陷东西长约 90km，南北宽约 65km，总面积 5850km^2 ，总体走向为北东向，新近纪以后，属渤海湾坳陷盆地的一部分。该凹陷具有北断南超的箕状凹陷特点，北部边界断裂活动强，控制了整个凹陷的沉积演化，南部以地层的层层上超为特征，通过不整合面与隆起区相接，平面上发育北部陡坡带、中央洼陷带、南部缓坡带等 3 个二级构造带。各二级构造带的形成机制、应力方式有所不同，导致油气藏类型、分布和油气富集程度也不同，故研究各二级构造带的应力方式、应力场的演化可以预测油气藏的分布。

东营凹陷烃源岩主要为沙四上亚段（ $\text{Es}_4^{\text{上}}$ ）和沙三段（ Es_3 ）的暗色泥岩、油页岩，断

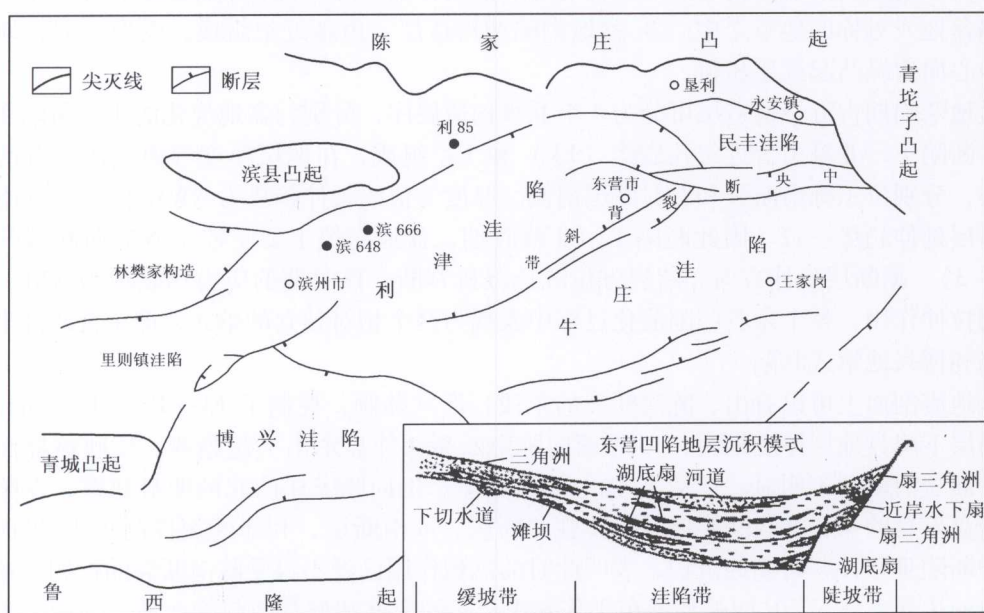


图 2-1 东营凹陷区域构造位置（据胜利油田地质院资料改编）

层、骨架砂体和不整合面为油气的主要运移通道,发育多套生储盖组合和断块、地层、岩性及潜山等多种油气藏类型。沙三段不仅是东营凹陷中烃源岩最发育的层段,也是目前油气勘探中寻找岩性圈闭最有利的层段。沙三段进一步分为下、中、上3个亚段,下段厚度在100~150m左右,中段沉积厚度为400~500m,上段沉积厚度为400~450m。

第一节 区域构造背景及演化

东营凹陷是典型的走滑—断陷盆地,从广义上说,东营凹陷所在的渤海湾盆地是一个受控于郯庐走滑断裂带和太行山东麓走滑断裂带的大型走滑拉分盆地。

从区域构造演化的动力学背景上看,渤海湾盆地的区域构造应力场经历过多次由左旋压扭到右旋张扭的反转。中—晚侏罗世(J_2-J_3)时期是燕山运动最活跃的时期,右旋压扭构造应力场导致了我国东部发育NE向构造带。晚中生代期间断陷盆地的发育则直接受控于晚侏罗世—早白垩世(J_3-K_1)右旋张扭构造应力场。晚白垩世—古近纪初期,我国东部在压扭应力场控制下的挤压隆升作用直接导致了区域古近系底界不整合面(在渤海湾盆地为 T_R)的发育。渤海湾盆地的发育则与新生代期间构造应力场再次由左旋压扭向右旋张扭的转化直接相关。东营凹陷构造演化受渤海湾盆地构造演化的控制。

一、构造演化

1. 构造层特征

东营凹陷由3个不同结构特征的构造层叠置而成:①前中生代形成的盆地基底岩系构造层。②盆地断陷期构造层。东营凹陷这一时期构造层由中生代 J_3-K_1 和新生代古近系组成(图2-2),二者之间为一区域性的角度不整合面 T_R ,它将盆地划分为两个不同的断陷作用阶段。断陷期内盆地构造层的发育受断层活动控制,并呈楔状或梯形块状充填于半地堑式断陷盆地或对称的地堑之中。③盆地拗陷期构造层,由新近纪组成,变形微弱,地层从断陷中心向边缘凸起逐层超覆。

盆地断陷期古近纪构造层可分为4个Ⅱ级构造层序,分别与盆地演化的4个断陷作用幕对应。断陷Ⅰ—Ⅱ幕由古近纪孔店组(Ek)和 Es_4 组成,在地层厚度等值线图上有两个沉降中心,分别位于陈南断裂和石村断层南侧。厚度等值线延伸趋势为NNW向,与陈南断裂东段断层延伸趋势一致。因此断陷Ⅰ—Ⅱ幕时期,盆地充填主要受控于NW向断裂的活动(图2-3)。据断层延伸方向和断裂方位统计分析判断,该时期的应力场表现为NNE—SSW方向的拉伸作用,整个东营凹陷演化过程中表现为两个相对独立的单元,即东营北部半地堑式断陷和博兴地堑式断陷。

从地震剖面上可以看出,陈南断裂的东段,产状陡倾,控制了 $Ek-Es_4-Es_3^F$ 的沉积,陈南断层下降盘地层厚度最大, T_0 界面向陈南断裂延伸显示出上超趋势,反映该界面形成之后,断裂活动已不明显。但从 T_0 以上的地层显示出向陈家庄凸起的明显超覆,在陈南断裂下降盘发育的一套Ⅱ级断裂体系,如胜北断层、滨南断层、利津断裂控制了 T_0 界面形成之后的断陷Ⅲ和Ⅳ幕时期的沉积,表明此时的沉积作用已经不再受陈南断裂的控制。这个时期盆地的边界大体呈NE向弧形展布于陈家庄凸起的南坡和滨县凸起的南坡,滨南—利津断裂带和胜北断裂带控制了断陷Ⅲ—Ⅳ幕时期的地层厚度。这两套地层厚度等值线延伸趋势呈NE—SW向,与上述 $Ek-Es_4$ 期地层厚度等值线延伸有一明显偏转,表明控盆构造应力场发

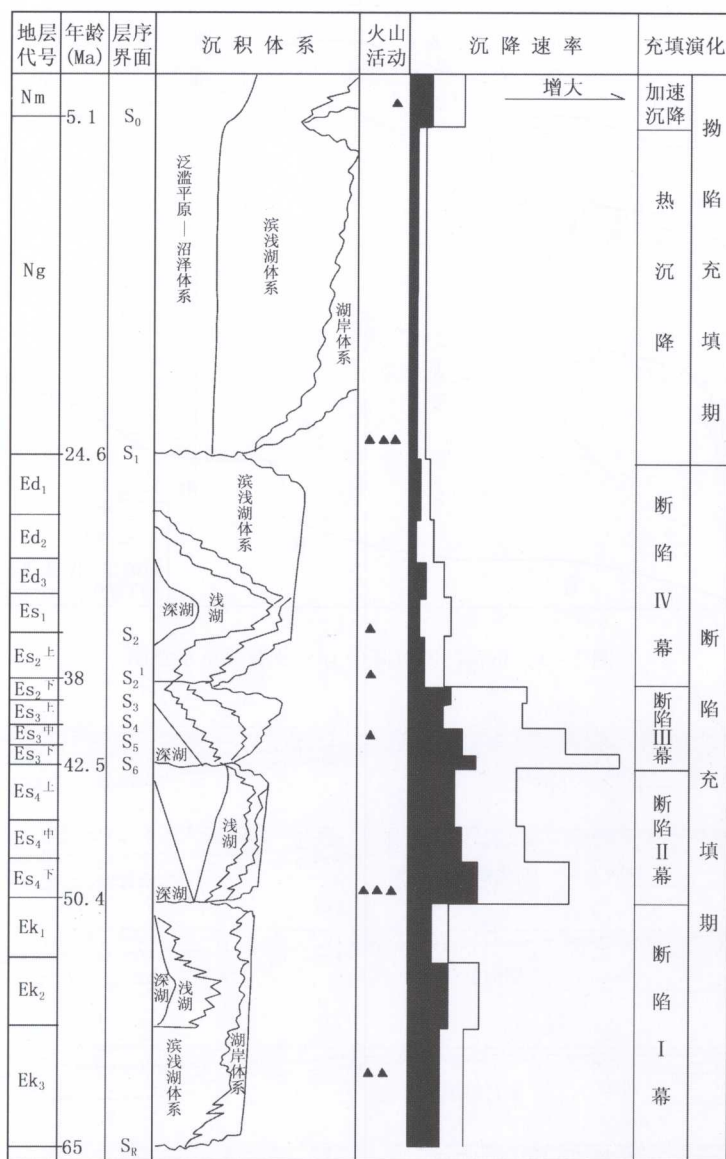


图 2-2 东营凹陷新生代构造运动与充填 (据胜利油田)

生了明显的变化。从这组断裂的展布和这个时期活动断裂方位的统计分析可以发现,这一时期盆地的活动主要受控于 NW—SE 向拉伸应力的作用,博兴洼陷与东营北部洼陷合为一体,东营凹陷的沉降中心也由东部的民丰洼陷向西迁移至利津洼陷。

2. 构造演化

东营凹陷及所在的济阳坳陷乃至渤海湾盆地中、新生代构造演化是由印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动来完成的,经历了中生代拱张断陷、古近纪拉张断陷和新近纪以后的整体拗陷阶段。按时间演化序列,可将东营凹陷构造演化(图 2-4)划分为以下 4 个阶段。

1) 断陷前隆起阶段(中侏罗世以前)

自古生代末期,随着华北古陆与华南、西伯利亚板块的碰撞缝合,开始形成了统一的欧

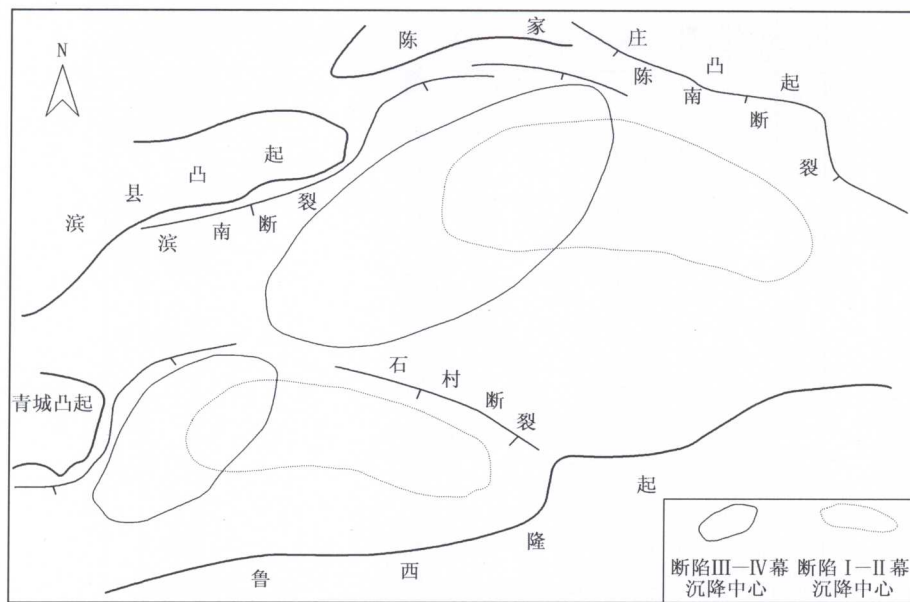


图 2-3 东营凹陷沉降中心与断裂关系示意图

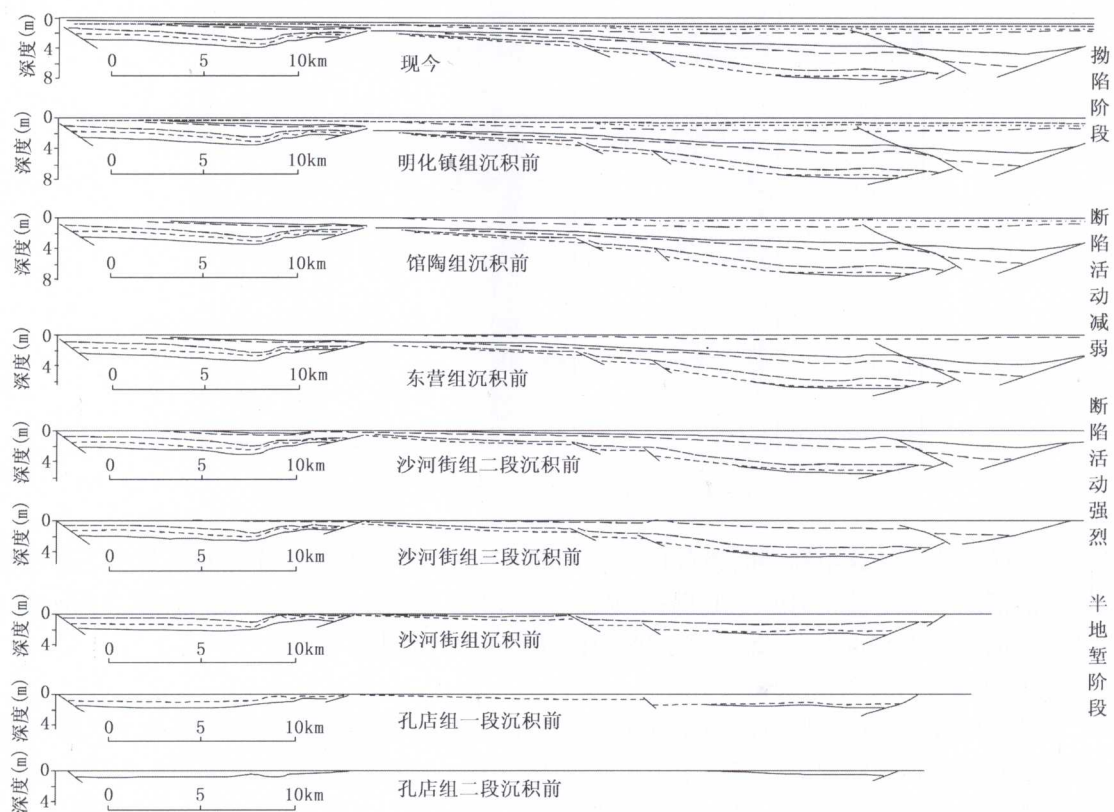


图 2-4 东营凹陷 596 测线构造演化

亚板块，彼此间开始发生挤压作用，印支期这种挤压作用达到高潮。该阶段渤海湾盆地大范围上隆，大部分地区缺失三叠系。济阳拗陷在隆起背景上发育了一系列由南向北轴向为北西的、正负相间的压性构造。该阶段只在隆起背景上的洼地沉积，东营地区只在西南部高青地区有中、下侏罗统分布，高参1井揭示总厚度为312m，上部为灰色砂泥岩和紫色砂泥岩，下部为碳质页岩。可见东营凹陷下、中侏罗统地层分布完全依附于印支期形成的古地貌。

2) 断陷初期阶段（晚白垩世以前）

从晚侏罗世开始，中国东部进入构造活动强烈期。据统计，该阶段济阳拗陷内产生了北东、北西和北西西3组基底断裂30余条。初步形成了分隔性极强的断块山构造体系，并产生了箕状断陷的雏形。东营凹陷后期的伸展断陷完全继承了该阶段的断裂背景。此时盆地较狭窄，没有大面积的湖泊，盆地周缘为大量的冲积物堆积，区内广泛发育杂色砂砾岩与中基性—中酸性火山岩系。

3) 断陷扩张阶段（古近纪）

燕山运动末期（中生代末），郯庐断裂带由左行走滑变为右行运动，渤海湾盆地的区域应力场由左旋挤压变为右旋拉张，区域范围内产生优势拉张，开始了新生代箕状断陷盆地的发育阶段。主断层继承并发展了前期的已成断裂，发生断裂、伸展、掀斜和旋扭，逐步形成了一系列箕状沉积盆地。

古近纪，东营凹陷以断块拉张、盆地区扩大、快速沉积、剧烈断裂为标志。同时在其演化过程中表现出“幕式”渐进伸展的特点（图2-4至图2-6），其中 E_{s2-3} 以及东营组（Ed）沉积时期沉降速率最大，伸展量最大，是东营凹陷断陷湖盆的主要发育时期。

该阶段经历了孔店期—沙四期半地堑发展、沙三期—沙二期断陷活动强烈、沙一期—东营期断陷活动减弱3个阶段。

孔店期—沙四期半地堑发展阶段：此阶段是东营凹陷断陷扩张的早期，东营凹陷主要表现为大洼陷的斜坡性质，断陷活动主要由北部的陈南断层控制，地层自该断层下降盘向南斜

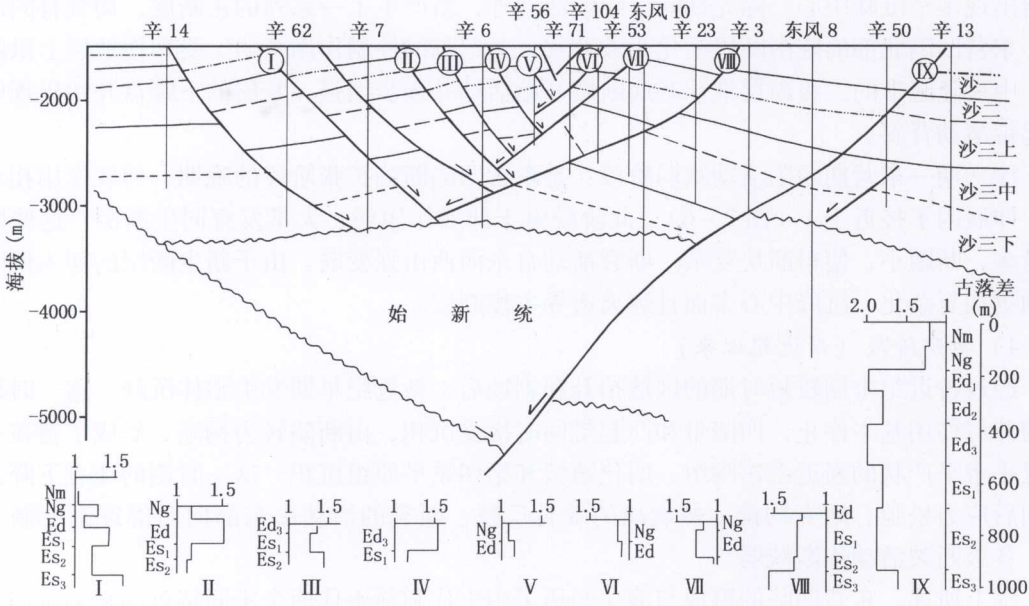


图2-5 东营凹陷中央隆起带构造剖面及断层生长指数