

储层特征及 精细油藏描述

——以老河口油田老451区块为例

钱 钦◎著

地 质 出 版 社

储层特征及精细油藏描述

——以老河口油田老 451 区块为例

钱 钦 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 摘 要

本书在查阅大量区域资料的基础上,系统进行了老 451 断块沉积体系、构造特征、测井二次解释、储层特征、油气分布规律及剩余油等方面的研究,预测了该断块区有利区带。

本书可供广大从事油气地质研究的科技人员、大专院校油气地质专业的师生学习和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

储层特征及精细油藏描述:以老河口油田老 451 区块为例/钱钦著.—北京:地质出版社,2008.7

ISBN 978-7-116-05724-1

I. 储… II. 钱… III. ①油田—储集层—研究—老河口
市②油藏—油气勘探—老河口市 IV. P618.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 108546 号

CHU CENG TE ZHENG JI JING XI YOU CANG MIAO SHU

责任编辑:陈 磊

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010) 82324519 (办公室); (010) 82324565 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:11

字 数:250 千字 彩图:28 面

版 次:2008 年 7 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:50.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-05724-1

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

老河口油田老 451 区块位于山东省东营市孤岛区境内，区域构造上位于渤海湾盆地济阳埕子口凸起北斜坡腰部，是一个以古近系沙河街组沙二段、沙三段砂岩为储层的构造-岩性油藏。该区块自 1994 年投入开发，起初有两口井（老 45，老 451）获得工业性油流，但 1999 年在与老 45 井，老 451 井相同的地质背景和构造条件且地理位置上紧邻，老 451-斜 1，老 451-2 和老 451-3 井接连打空。表明该断块内的储层及剩余油分布异常复杂。这给断块的进一步勘探开发带来极大的不确定性。

本书运用矿物学、岩石学及沉积学对老 451 区块沙二、三段的沉积相进行了精细研究，在此基础上应用层序地层的方法建立了沙二、三段和沙一段至东营组的层序格架。将研究区内的层序格架组成为五类模式：陡坡型、缓坡型、高垒型、深洼型、冲积型。研究认为， E_{s1} 底部砂岩属湖侵期的滨岸滩坝沉积，横向延伸范围广，是本区油气的良好储集体；沙二、三段则为周期性进积的水下冲积扇沉积。储层主要为沙三段上部的粉砂岩和砂砾岩，砂体主要分布在老 451 井东断裂上升盘；沙二段的砾岩、含砾砂岩及粉砂岩，砂体主要分布在两个地区：老斜 452 井至老 451-斜 1 井一线、东部桩 106-14-7 井至老 451 井以及桩 106-14-10 井一带。本书对研究区沙二、三段储层的孔隙进行了系统研究，结果表明沙二、三段储层孔隙主要为溶蚀粒间孔隙、溶蚀粒内孔隙和溶蚀填隙物内孔隙，其次为粒间孔隙。喉道以孔隙缩小型和收缩型为主，孔隙结构主要包括三类： I_A 类具有高孔隙度、高渗透率和粗喉道的特点； I_B 类具有较高孔隙度、较高渗透率和粗喉道的特点；II 类孔隙度低、渗透率低和细喉道，喉道中值较前两类低。研究区剩余油主要受沉积微相、储层参数和储层微观特征影响，三者共同作用使剩余油主要分布在沙二段砂体正韵律顶部和

沙三段扇中砂体部位。这些部位应是今后滚动勘探的重点。

研究表明，老 451 断块共发育 10 条断裂，对油气具有控制作用的是老 451 井东 1 号断裂、老 451 井南断裂和老 45 井南断裂。油气运移的主要通道是砂岩疏导层和断层。对油气聚集而言，老 451 井东断裂等早期活动断层对油气起封闭作用，对成藏起着关键的作用。在地质研究的基础上，对研究区的十余口钻井进行了测井二次解释，结合地震约束反演对老 451 块内剩余油的形成条件，控制因素、富集规律和分布特征进行深入剖析，并总结出了规律性认识，对老 451 断块今后滚动勘探和油藏的开发具有指导意义以及推广应用价值。

本书在写作过程中，受到了胜利油田单位领导和同行的大力支持，石油大学的钟建华教授、褚元杰硕士等也给予了热情的指导和帮助。在本书付梓之际，向参与和关心本书出版的专家和朋友们表示深切的谢意。

作 者

2008 年 2 月 28 日

引 言

老河口油田老 451 区块位于山东省东营市河口区境内，区域构造上位于渤海湾盆地济阳拗陷埕子口凸起北斜坡腰部。其最重要的油藏类型由古近系沙河街组沙二段及沙三段砂岩储层构成的构造-岩性复合油藏，主力含油层为沙二段、沙三段砂岩。整个区域含油面积 1.5km^2 ，地质储量 $122 \times 10^4\text{t}$ ，可采储量 $31.7 \times 10^4\text{t}$ ，采收率 26.0%。

老 451 区块自 1994 年投入开发至今，整个区块已经完成钻井 8 口，其中探井 4 口（老 45 井，老 46 井，老 451 井，老斜 452 井），取心井 3 口（老 45 井，老 46 井，老 451 井）。但具有工业产能的井只有老 45 井及老 451 井。1999 年为增储上产，在与上述两口井完全相同的地质及构造背景条件下，继续开钻老 451-斜 1 井，老 451-2 井和老 451-3 井三口井，但都未获得工业性油流，其中老 451-2 井与老 451 井相邻，老 451-斜 1 井和老 451-3 井与老 45 井相邻。落空的主要原因有两个：一是圈闭不落实，断层的封堵性认识不清；二是储层变化快，物性变化大，非均质性强。以前该区重点落实标准层构造，小层的对比、沉积岩相及储层物性、剩余油分布等未作深入的研究分析。

根据老河口油田老 451 区块存在的主要问题，本次工作将综合利用地质和地球物理的新理论、新方法和新技术，通过开展储层分层次逐次细分对比，进而分析各自对应的沉积学特征，沉积相的归属，确定工区重点砂体的沉积相模式；同时对该区断裂的性质、组合形态、形成机制、各主要断裂的纵横向封堵性进行研究，在此基础上表征储层微观特征，最后以建立地质概念模型为核心来分析预测剩余油的形成和分布，提出相关建议，为该区块进一步调整挖潜、增储上产提供理论基础和科学依据，为油田下一步勘探开发提供必要的地质依据。因此，通过老河口油田老 451 区块的成功研究，可以应用到老河口油田的研究，对油田的开发具有十分重要的理论意义和实际应用价值，同时对于我国东部类似油藏的勘探、开发也具有相应的指导意义和推广应用价值。

一、国内外研究现状

油藏描述是以沉积学、石油地质学、构造地质学、数学地质、地震地层学和测井地层学的最新成果为理论基础，以计算机和自动绘图技术为手段，对地质、物探、钻井、测井、分析化验以及地层测试资料进行综合处理，用以研究和描述油藏的一项技术系统^[1,2]。

油藏描述最早是斯伦贝谢测井公司于 20 世纪 70 年代末所提出的，他们认为油藏描述技术服务（或油藏研究）是以测井技术为核心。并将油藏描述分为以下 11 项研究内容：

- (1) 油田地质构造与储集体几何形态的研究；
- (2) 关键井研究；
- (3) 油田测井资料标准化；
- (4) 测井相分析；
- (5) 油田参数转换与渗透率的研究；
- (6) 井与井间的地层对比；
- (7) 单井综合测井地层评价；
- (8) 储集层参数的汇总与作图；
- (9) 计算油田的油气地质储量；
- (10) 单井动态模拟；
- (11) 测井数据库的建立与应用。

同时，斯伦贝谢测井公司还提出，油藏描述的核心是测井油藏描述。到 1985 年斯伦贝谢公司才将三维地震资料及 VSP（垂直地震）资料引入到油藏描述的测井井间相关的研究中，但它所强调的油藏描述仍是以测井为主体模式的技术、多学科协同研究及最终的储层三维模型^[2,3]。

我国开始引进油藏描述（Reservoir Description）是 20 世纪 80 年代中期，并从多方面开展了综合研究攻关工作。进入 90 年代，油藏描述工作在我国各大油田得到了全面开展，通过各油田、石油院校、研究单位的共同努力，逐步形成了一些适应我国陆相储层和多断块特点的油藏描述方法^[4~9]，形成了地质、地震、测井、综合录井、测试等资料为研究内容的油藏描述系统。

目前油藏描述技术已经在国内各油田进行了广泛的应用，许多新技术也得到了广泛的应用^[4~14]，主要表现在：

- (1) 在地质工作中，将现代沉积学、地震地层学、层序地层学和石油地质

学的最新理论应用到油藏描述中指导油藏的研究,并尽可能地引用分析化验新技术,完成旨在建立油藏地质概念模型的地质描述。

(2) 在地球物理勘探工作中,采用高分辨率、三维和 VSP 地震勘探技术及一系列常规和特殊处理技术,人机工作站的交互解释、成图定量描述油藏几何形态和横向预测等技术,完成油田构造的精细解释和储集岩体的定量解释。

(3) 在测井工作中,采用高精度声波、密度、地层倾角等各种新的测井系列及相应的最优化处理与多功能解释等技术,结合以研究储集岩孔隙结构、渗流能力、流体特征为主体的岩心分析化验技术,完成储层参数的精细解释。

(4) 在储量计算工作中,采用油藏地质概念模型与储层参数分布研究相结合的方法,建立储集参数静态模型,完成包括储量计算和提交油藏开发所需图表在内的油藏评价。

同时,各院校与油田的合作成果也分别以文章和出版物公开发表了,其中以中国石油大学、中国地质大学等院校的成果比较突出。而且油藏描述技术也逐渐完善、规范,形成了具有开发特色的油藏描述理论技术,如精细沉积微相研究技术、微构造研究技术、随机建模技术、综合储层预测技术、综合地质建模技术、裂缝预测技术、确定剩余油技术等等。此外,油藏描述技术也由静态的油藏地质描述发展到动静态相结合的方向,由定性描述向定量方向发展,许多先进理论如概率统计、模糊数学和分形几何等也先后引入到油藏描述中来^[13]。

在石油地质研究中,构造方面的研究一直是研究的基础和重点。同样,在油藏描述中精细构造的研究也是至关重要的一项研究。这一方面是因为区域构造特征和构造演化不仅控制了沉积体系的时空展布和储层的沉积演化特征,另一方面也因为区域构造特征和构造演化对有效烃源岩的分布和油气成藏有着强烈的影响,而且断裂本身的封闭特性在油气的运移聚集过程中起着重要作用。

油藏描述技术今后的发展应用,主要是解决地下复杂地质体模式判别问题、油藏参数空间分布、连续定量反应问题、储层流体渗流动态显示问题、最优工程方案确定问题等。因此油藏描述的发展趋势关键取决于提高多学科协同分析地质问题的综合程度,随着模拟技术的深入应用和计算机功能的高速发展,用更准确的模型来实现对储层结构和油藏参数的高精度预测会是不久的将来的事。

二、主要研究内容及研究方法

笔者自 1999 起就一直对老 451 区块的勘探开发工作进行了详细的参与及跟

踪,对整个老 451 区块的地质特征、储层展布、油藏类型、油藏生产开发动态、剩余油的展布等各方面的资料有深入的掌握,积累了大量的相关方面的资料,并总结出一定的规律性认识。自 2000 年以来,笔者从工区内进行了详细的分析、总结了大量的工区已获取的地质及开发方面的信息,主要涉及的工作包括:

(1) 运用矿物学、沉积学、层序地层学、地震地层学和测井约束反演等新理论和新方法进行储层沉积类型、成岩作用、构造作用研究,阐明砂体的几何形态、时空展布及变化。

(2) 运用断面承受应力分析、剪切带研究、泥岩沾污因子和模糊综合判别等多种方法开展断层封闭性研究,阐明研究区断层与油气成藏的关系。

(3) 运用常规测井资料开展测井多井精细处理和解释,提供定量的储层参数从而探讨储层物性在平面、纵向上的变化。

(4) 综合地质、测井和物探方面的研究,探讨成藏规律并预测剩余油的分布。

三、研究取得的主要结论

(1) 首次在本区进行层序地层的划分,并利用测井曲线的活度函数法实现了工区地层的自动分层。确定了沙二、沙三段和沙一段至东营组的层序格架,将本区沙一段及沙二、沙三段划分出了 Es_1 , $Es_2^1_{\sim 3}$, $Es_2^2_{\sim 3}$, $Es_2^3_{\sim 3}$, $Es_2^4_{\sim 3}$, $Es_2^5_{\sim 3}$ 等几个沉积旋回,建立了较为完整的地层系统。重点确定了包括沙河街组、王氏组及西洼组及组内各段的岩性特征和主要鉴别标志,通过单井相分析和剖面对比相分析表明: S_1 底部砂岩属湖侵期的滨岸滩坝沉积,横向延伸范围广,是本区油气的良好储集体;沙二、沙三段则为周期性进积的水下冲积扇沉积,根据其内部的沉积特征的差异可以划分出扇根、扇中及扇缘三个亚相,其典型的特征就是岩性在横向上变化快。

(2) 通过断面应力分析、断裂活动期与生活期匹配关系、断层剪切带法、断层封堵系数法、泥岩沾污因子以及断层封闭性的模糊数学判别等方法,对工区内的断裂封闭性进行了定性到定量研究。分析表明,老 451 断块共发育 10 条断裂。

(3) 通过对老 451 断块区主要断裂内各砂体进行综合评价得出:老 451 井东断裂 1~3 号砂体,老 451 井南断裂 1~6 号砂体,老 45 井东断裂 1 号砂体,老 45 井南 1 号、3 号砂体断裂封闭性好,能够遮挡油气的继续运移,在附近聚

集成藏，老451井东断裂4号砂体，老451井北断裂1~6号砂体，老45井南断裂2号砂体，老45井东断裂4号砂体断裂封闭性较差；老45井东断裂2号、3号砂体封闭性最差。

(4) 重点对研究区的孔隙进行了分类，研究表明沙二、沙三段储层孔隙主要为溶蚀粒间孔隙、溶蚀粒内孔隙和溶蚀填隙物内孔隙，其次为粒间孔隙。喉道以孔隙缩小型和收缩型为主，孔隙结构主要包括三类： I_A 类具有高孔隙度、高渗透率和粗喉道的特点； I_B 类具有较高孔隙度、较高渗透率和粗喉道的特点； II_A 类低孔隙度、低渗透率，喉道中值较前两类低。

(5) 根据断陷盆地断裂活动特点及其对沉积作用的控制，可将工区内的层序格架组成为五类模式：陡坡型、缓坡型、高垒型、深洼型、冲积型。通过构造、沉积相、反演资料及其之间的相互配置关系综合分析后认为：老451井的第二、三两个砂体为该区的主力储集体；老45砂体是较好的储集体；应用理论模型的波形合成和分析，提取计算与油气关系密切的复赛谱平均对数衰减率、波阻抗、地震振幅等地震属性，并且利用人工神经网络技术进行储层的含油气性预测，取得了较好的效果。油气运移的主要通道是砂岩疏导层和断层，老451井东断裂等早期活动断层对油气起封闭作用，对成藏起着关键的作用。剩余油的形成和分布主要受沉积微相、储层参数和储层微观特征影响，三者共同作用使研究区剩余油主要分布在沙二段砂体正韵律顶部和沙三段扇中砂体部位。

目 次

前 言

引 言

第一章 济阳拗陷地质及含油层特征	(1)
第一节 区域地质特征	(1)
一、区域地质概况	(1)
二、渤海湾盆地的形成机制分析	(2)
第二节 济阳拗陷形成演化及含油地质特征	(4)
一、济阳拗陷的形成及构造演化特征	(4)
二、济阳拗陷基本石油地质特征	(6)
第二章 老 451 断块地层及沉积学研究	(8)
第一节 老 451 断块地质概况	(8)
一、工区地质特征	(8)
二、老 451 工区开发历史	(9)
第二节 地层分布特征	(9)
一、中生界	(9)
二、沙河街组(Es)	(11)
第三节 单井相及剖面对比相分析	(12)
一、老 46 井单井相分析	(12)
二、老 451 井单井沉积相分析	(15)
三、桩 106 - 10 - 7 井—老 451 井—桩 106 - 14 - 10 井剖面对比相分析	(16)
四、老 46 井—老 35 井—老 1 井剖面对比相分析	(18)
第四节 沉积相展布特征	(18)
第五节 沉积体系及沉积模式	(28)
一、沙二段、沙三段的水下冲积扇相沉积	(28)
二、沙二段、沙三段中的浅湖—半深湖亚相	(29)
三、沙一段滩相沉积	(29)
四、其他沉积相类型	(31)

五、砂砾岩扇体的沉积规律的认识	(32)
第三章 老 451 块的构造特征及断层封闭性研究	(34)
第一节 老 451 块构造特征	(34)
一、主要断裂特征	(34)
二、断裂形成机制分析	(38)
第二节 断裂封闭性研究	(39)
一、断面承受应力与断层封闭性	(40)
二、断层活动期与油气运移期的配置	(42)
三、断层剪切作用	(44)
四、断层封堵系数与断层的封闭性	(45)
五、断面岩性图分析断裂的封闭性	(48)
六、泥岩沾污因子分析	(52)
七、断层封闭性模糊数学综合评价	(55)
第四章 老 451 块测井资料精细解释的方法及结果	(59)
第一节 工区斜井校正	(59)
第二节 自然电位曲线的校正及混合液电阻率的求取	(62)
一、地层分层的方法	(62)
二、自然电位曲线的校正方法	(63)
三、应用校正后自然电位曲线计算混合液电阻率	(64)
第三节 泥质含量及孔隙度的计算	(64)
一、计算泥质含量	(64)
二、孔隙度的计算	(68)
第四节 粒度中值解释方程	(70)
第五节 饱和度计算	(72)
一、计算束缚水饱和度	(72)
二、计算含水饱和度 S_w	(72)
第六节 渗透率计算	(73)
一、计算地层绝对渗透率	(73)
二、油、水相对渗透率(K_{ro}, K_{rw})的计算	(73)
三、油、水有效渗透率(K_o, K_w)的计算	(74)
第七节 测井解释结果	(74)
第五章 老 451 断块构造样式、沉积类型及砂体表征	(81)
第一节 构造样式研究	(81)
一、构造类型特征	(81)
二、断裂活动强度、级次对盆地层序体规模及成因单元模式的控制	(83)
三、断裂活动方式控制层序体分布的几何形态	(85)
四、沉积物供应、湖平面变化对层序发育的影响	(87)

第二节 沉积类型研究	(88)
一、地震相研究	(88)
二、典型沉积相分析	(90)
三、沙二段、沙三段沉积环境研究	(92)
第三节 砂体表征	(93)
一、基本研究方法	(93)
二、砂体的标定方法	(94)
三、砂体的识别方法	(95)
四、研究层段砂体表征	(96)
第四节 砂体含油气性预测	(110)
一、产油层波形振幅分析方法	(110)
二、复赛谱分析算法	(111)
三、基于储层地质模式多参数预测砂体含油气性	(114)
第六章 老 451 断块储层特征、油气成藏规律及剩余油研究	(120)
第一节 老 451 断块内储层微观特征	(120)
一、储层的孔隙类型	(120)
二、储层的孔隙结构	(122)
三、成岩作用对储层储集性质的影响	(135)
第二节 成藏规律研究	(141)
一、油源分析	(141)
二、储盖条件	(143)
三、油气的运移和聚集	(144)
第三节 剩余油形成与分布研究	(145)
一、沉积微相控制剩余油形成和分布	(146)
二、储层参数对剩余油的形成和分布的控制	(147)
三、储层微观特征对剩余油富集的影响	(147)
四、有利区带预测	(147)
第七章 主要结论	(149)
参考文献	(151)

第一章 济阳坳陷地质及含油层特征

第一节 区域地质特征

一、区域地质概况

老河口油田老 451 断块区地理位置于山东省东营市河口区境内，区域构造上位于渤海湾盆地济阳坳陷埕子口凸起北斜坡腰部。渤海湾盆地位于中国东部华北地区的东北部，是在古生代华北地台基底上发育的中生代、新生代断陷盆地，至新近纪转化为坳陷盆地。盆地东临胶辽隆起区，西接太行山隆起区，南北分别被秦岭和燕山褶皱带所围限。包括华北平原北部、渤海海域和下辽河平原 3 个区域单元，面积约 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，发育有几百至近万米厚的新生代陆相沉积层，具有丰富的油气资源，是我国东部主要的油气产区之一，同时亦是现代大陆地震比较活跃的区域之一（图 1-1）。

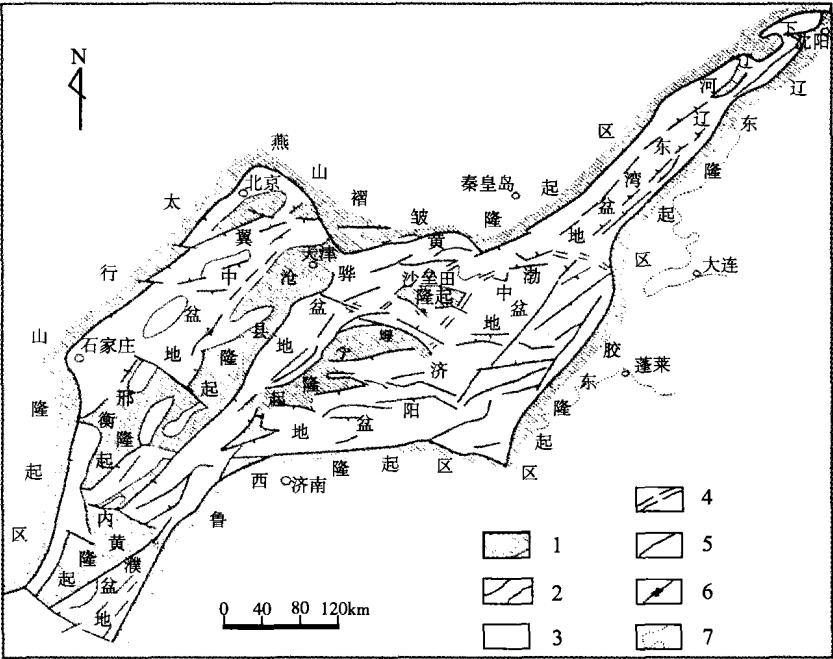


图 1-1 渤海湾地区构造格架图^[19]

1—隆起；2—盆地中的凸起构造带；3—盆地中的凹陷构造带；4—盆地之间边界线；
5—主干伸展断层；6—主干走滑断层；7—海岸线

在大地构造区划分上,渤海湾盆地处于中朝陆块的东部,东临胶辽隆起,西与太行山隆起为邻,北至燕山台褶带,南抵豫淮台褶带,是一个新生代的沉降平原,被第四系大面积覆盖。这是一个叠置在华北地台古生代盖层之上的中、新生界裂谷盆地,盆地内发育有震旦界、古生界海相地层和中生代、新生界陆相沉积,累计厚度达 33 000m。

渤海湾地区地壳厚度约 29 000 ~ 37 000m。各断陷的前古近纪基底由不同时代的不同地层组成:太古宇和古元古界的混合花岗岩、石英岩和大理岩;中新元古界和下古生界的白云岩和石灰岩;上古生界的含煤地层以及中生界的基性-中性火山岩和含煤地层。古近系、新近系主要由厚约 10 000m 的巨厚碎屑岩系组成。在古近纪断陷的发育过程中,古近系沉积盖层的形成直接受到前古近系基底构造格局的控制,盖层与基底在断裂、构造和含油性等方面有密切的联系,但也有较多的差异。

渤海湾盆地主要由冀中、黄骅等 8 个断陷盆地和沧县、埕宁等隆起相间排列组成,呈现出似菱形的轮廓。根据近年来油气勘探资料及已有大量地质-地球物理场资料,渤海湾盆地具有以下主要构造地质特征^[15]:

(1) 渤海湾盆地四周被深大断裂带所限。东有郯庐断裂带,西有紫荆关及太行山东麓断裂带,北为昌黎-宝坻断裂带,南为广饶-齐河断裂带,这些深大断裂带把整个渤海湾盆地分割成许多大小不等的断块,从西向东排列的冀中断块、黄骅断块和辽河-渤海-济阳断块是最大一级的断块,而每一断块又被次一级断裂带分割成许多小断块,且由于掀斜活动而多成翘倾状态。这些深大断裂带对盆地的形成和发育,以及盆地的分布和沉积相带等都起着重要的控制作用。

(2) 渤海湾盆地内断裂系特别发育。根据资料显示主要有四组断裂系统,其中占主体的是一组走向呈北东向和北北东向延伸的基底断裂系,并具有左行雁列的展布形式,其中由各段断裂组成的太行山东麓断裂带,沧东断裂带和聊城-兰考断裂带为最大一级的雁列断层,而如冀中坳陷东部由河西务、牛东、任丘、马西、河间、留路、沧西等断层组成的雁列断层则为次一级;同时盆地内还存在着许多走向呈北西向和近东西延伸的断裂系,如冀中坳陷中的七里庄、南王庄和衡水等断层以及黄骅坳陷中的海河和羊三木断层等。

(3) 渤海湾盆地构造表现为“断陷”-“坳陷”结构,即在 8 个相对独立的古近系断陷盆地之上叠覆新近系至第四系坳陷盆地。每一个古近系断陷盆地又包括若干由基底正断层控制的凹陷和凸起,盆地的主边界断层常只在一侧发育,致使盆地在结构上表现为不对称性的箕状或垒堑结构,盆地内的凹陷亦多表现为由旋转平面式、铲式或坡坪式正断层所控制的半地堑结构。

(4) 渤海湾盆地地区地壳具有层状特性,可分为上地壳、中地壳和下地壳。中地壳主要表现为低速高导层,位于 15 ~ 20km 深的范围内。地壳内不同层位的物质明显不同,上地壳主要为花岗岩和片麻岩,中地壳主要为中性角闪岩相,下地壳则为基性麻粒岩相在构造伸展过程中,在不同物质成分层或不同流变层之间将产生一个低强度带,并且在较高的地热流值情况下,低速带将集中出现在上地壳与中地壳和中地壳与下地壳之间。

二、渤海湾盆地的形成机制分析

关于渤海湾盆地的形成机制,截至目前主要有以下观点:伸展+走滑成因以及伸展+

拉分成因。

（一）伸展 + 走滑成因机制

这是目前比较普遍的认识,该观点认为渤海湾盆地是在伸展作用的同时叠加了后期走滑构造作用而形成的。对于这一观点,由于在对盆地的伸展机制和动力来源上存在异议,可进一步将其划分为两类观点。

1. 主动裂陷机制

马杏垣等^[15]早期根据槽台学说的观点研究了中国东部中、新生代裂陷作用和伸展构造,认为中国东部伸展作用的机制为地幔热作用,即软流圈的热脉动;陈国达根据地洼学说对中国东部新生代伸展盆地进行研究后认为,中国东部拉伸盆地形成于中国华北古地台活化解体所成的地洼区发展的晚期,即后地台造山的主要活动期之后,属于山间构造盆地。由于大地热流值相对降低,地壳相对收缩,遂产生或改造旧断层成为众多的张性或张剪性断裂及拉伸性盆地。关于盆地内北东、北北东向走滑断层系,则是由于亚洲东部 - 太平洋西部岩石圈自新生代以来的应力场的特点所决定,而后者又受控于它下面的地幔应力场。地幔重力差造成地幔蠕动流所产生的右旋剪力托动上覆板块相向运移剪切,形成盆地内目前这一走滑断裂组合景观。

吴振明、王同和^[20]、田在艺^[17~18]、漆家福等^[19]认为渤海湾盆地为一新生代主动裂陷盆地。地幔上涌、板块俯冲引起的蠕动为渤海湾盆地的扩展提供拉张环境,而盆地中存在的一系列北东、北北东向的走滑构造带则是由于库拉 - 太平洋板块对欧亚大陆的俯冲作用,以及印度板块对欧亚大陆的碰撞作用所形成并叠加在伸展构造系统之上且保持自身相对独立性和统一性,同时对伸展构造系统具有一些轻微的改造作用;后期地幔的冷缩、下地壳的韧性颈缩、上地壳的构造滑移和沉积负荷等使渤海湾盆地由断陷盆地转化为统一的拗陷盆地。

2. 被动裂陷机制

胡朝元^[21]通过对渤海湾盆地地质结构及岩石圈层结构的研究,特别是通过对渤海湾盆地莫霍面隆起进行几何图解,认为渤海湾盆地是岩石隆起与裂开的结果,而后者又是由板块活动引起的区域应力场而产生的。即由区域性引张应力场所产生的被动伸展盆地。

（二）伸展 + 拉分成因机制

李鹏举等^[22]通过对渤海湾盆地构造特征及拉分盆地的研究与比较,认为渤海湾盆地是在早期伸展的背景上叠加了后期的走滑 - 拉分作用而形成的伸展 - 拉分型复合盆地。

渤海湾盆地东西两侧的郯庐断裂带和太行山东麓断裂带对渤海湾盆地的形成和发育都起着非常重要的作用。中生代晚期,由于库拉板块向东亚边缘进行的北西向斜向俯冲,产生一系列北北东向的断裂,俯冲的应力传递导致郯庐断裂及一系列与其近平行的北北东向断裂具有左行平移的性质^[112]。郯庐断裂带及太行山带(紫荆关断裂、太行山东麓山前断裂)受北西 - 南东向近水平挤压,断裂带具有压剪的性质,表现为左行平移 - 逆断活动^[23];在接受俯冲挤压作用的同时,中国东部陆壳也普遍经受伸展作用,沿着上述北北东向断裂产生一系列早期断陷,至始新世,太平洋板块由北北东向俯冲转为北西西向俯冲,此间,中国东部陆壳伸展、减薄作用也逐步加强,受北西南东向近水平拉张和北东 -

南西向挤压作用, 郯庐断裂带呈张剪性质, 表现为右行平移-正断活动^[23], 渤海湾盆地开始呈现出拉分盆地的特征。由于印藏碰撞滑移线效应和日本海扩张所产生的压应力至太行山已大大衰减, 所以渤海湾盆地西界太行山东麓断裂的平移特征不明显, 但在总体上渤海湾盆地仍表现为明显的拉分盆地的构造形态特征^[22]。

此外, 关于渤海湾盆地的形成, 王伟锋等^[113]提出区域帚状构造应力场作用的观点, 认为渤海湾地区在区域帚状构造应力场的作用下, 形成巨型冀鲁帚状构造体系, 且其不同级序的构造成分均具有帚状构造体系特征, 帚状构造的生成和发展不仅控制了该区的构造格局, 而且控制了沉积发育、油气生成和分布; 张抗^[24]提出大陆扩张和蠕散的观点, 认为渤海湾盆地的形成不是起因于太平洋板块向大陆的俯冲挤压, 而是其向洋的扩张和蠕散。

受郯庐断裂带的控制和影响, 渤海湾盆地新生代的应力场表现为右旋张扭特征, 盆地内的深大断裂具有不同程度、不同性质的走滑活动, 即断裂的活动表现为剪切拉张。走滑活动控制着盆地内的生油洼陷, 渤海湾盆地坳陷内的分割性却较强。坳陷内的凹陷是独立的成油单元, 凹陷之间油气交换较少。大多数凹陷成为油气生成、运移和聚集的独立统一体, 凹陷的油气资源丰富程度, 决定了二级构造带油气的丰度。盆地内走滑活动性强的断层多为坳陷或凹陷的边界断层, 这些断层的掀斜活动和大的垂直断距, 导致了在其下降盘沉积物的快速堆积和沉积及沉降中心的形成, 这些部位目前是盆地内主要的生油中心。

第二节 济阳坳陷形成演化及含油地质特征

济阳坳陷位于山东省东北部, 渤海湾西南部, 渤海湾盆地西南隅, 是渤海湾盆地内为埕宁隆起和鲁西隆起所挟持的向西收敛向东撒开的、近东西走向的一个一级负向构造单元, 是渤海湾复式块断盆地的一部分, 为一典型的“北断南超”箕状断陷盆地^[15]。其北部以埕宁隆起为界, 与黄骅盆地相邻; 南部是鲁西隆起区; 东临渤海, 西与临清块断盆地相连。济阳坳陷东西长约 240km, 东部最宽处约 130km, 分布面积约 26 000km²。坳陷内部义和庄凸起、陈家庄凸起、无棣凸起、滨县凸起、青坨子凸起、广饶凸起又将其分为车镇凹陷、惠民凹陷、沾化凹陷和东营凹陷四个凹陷带 (图 1-2)。

一、济阳坳陷的形成及构造演化特征

济阳坳陷属于渤海湾盆地的一部分, 而渤海湾盆地位于华北板块, 所以盆地的形成和演化与该板块密切相关; 同时济阳坳陷的东部是郯庐深大断裂, 郯庐断裂本身又是多期变化、极不稳定的深大断裂, 所以, 郯庐断裂对济阳坳陷的形成也起着至关重要的影响。

前人的研究成果表明, 古生代华北板块总体上以升降运动为主, 但由于两缘的多期构造演化, 其开合作用造成了华北内部地壳较弱的挤压变形; 中生代是济阳坳陷的裂前拱起挤压变形初始断陷阶段, 受郯庐断裂的影响较大。这时, 济阳坳陷已初具雏形, 呈现出“此起彼伏”的块状构造格局, 并伴随有中基性火山活动; 新生代, 由于本区所属的渤海湾盆地进入断裂拉张阶段, 所以济阳坳陷进入强烈发育期, 形成坳陷内三级构造单元; 但