

# 东营凹陷中央隆起带构造演化 及成藏模式研究

王增明 著

中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

东营凹陷中央隆起带构造演化及成藏模式研究/王增明著.—武汉:中国地质大学出版社,  
2005.10

ISBN 7-5625-2062-3

东...

王...

. 东营凹陷-中央隆起带 构造演化-成藏模式

.P618

东营凹陷中央隆起带构造演化及成藏模式研究

王增明 著

责任编辑:张晓红

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮编:430074

电话:(027)87482760

传真:87481537

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cn>

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:170千字 印张:6.625

版次:2005年10月第1版

印次:2005年10月第1次印刷

印刷:武汉教文印刷厂

印数:1-300册

ISBN 7-5625-2062-3/P·652

定价:18.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

## 摘 要

中央隆起带是东营凹陷最重要的含油气构造。研究中央隆起带的构造特征、形成演化,断层与油气运移和聚集的关系,具有重要的理论意义和实践意义。本专著研究工作以构造地层学等基本理论为指导,运用现代构造地质学和盆地分析的新概念、新方法和新技术手段,将构造几何学、运动学和动力学相结合来研究和揭示东营凹陷中央隆起带的构造格架、形成机制和演化过程。将岩性配置、时间配置、产状配置、泥岩沾污因子分布状况、断层活动状况、断层力学性质等相结合来研究和揭示控油断层的封闭性和开启性,建立断裂封闭开启模式,揭示主要控油断层与油气聚集的关系。应用成藏动力学研究思路,揭示了中央隆起带复杂的断裂带对油气运移和聚集的动力作用和作用机制,建立了中央隆起带的油气成藏模式。

在东营凹陷三级层序格架研究的基础上,定量和动态地模拟了东营凹陷的拉伸沉降过程。确定了边缘断裂的活动速率和规律,确定了盆地拉伸率及其在区域上的变化,为盆地同沉积断裂与充填序列的关系和同沉积断裂对沉积体系控制作用的研究提供了基础。根据盆地充填特征、古构造运动面和沉降史模拟,精细地划分了盆地构造演化阶段,在早第三纪裂陷期划分了4个裂陷幕,即孔店沉积期早期的初始裂陷幕、沙四段沉积期的晚期初始裂陷幕、沙三段及沙二段下部沉积期裂陷伸展幕、沙二段上部及东营组沉积期裂陷收敛幕;在晚第三纪裂后期划分出裂后热衰减沉降幕及加速期沉降幕。上述六个沉降幕分别与 级层序地层单元相吻合。

研究了东营凹陷中央隆起带的构造特征。通过对典型地震剖面的解释和研究区构造图的分析,利用相干分析、属性分析等手段,精细解释中央隆起带构造,包括断层剖面组合、平面组合、次序、切割关系等,分析研究了其构造特征,归纳总结中央隆起带的断裂特征,断层的分布具有东多西少、大断层少(二级断层5条)、小断层多(四级断层346条)的特点,根据断层剖面特征及空间展布规律,将中央背斜带划分为构造特征明显不同的三个构造带,东段为辛镇构造带和新立村构造;西段又分为两支,南支为梁家楼—现河构造带,北支为东营—郝家构造带。

从盆地构造动力学研究入手,揭示了中央隆起带形成的动力学背景特征,提出东营凹陷中央隆起带是伸展、走滑和应力场转换作用的产物;在局部地区还伴生了断裂的重力滑动作用和塑性层拱张共同作用。

通过模拟实验进一步证实研究中央隆起带的形成机制,模拟结果表明纯粹的底辟作用和伸展作用过程都不能反映中央隆起带发育演化过程,只有底辟与侧向伸展过程,即底辟与断裂重力滑动作用的联合作用与实际现象更符合,显然这些形成机制在时间上不是孤立的,而是相互作用的。

构造发育史揭示了中央隆起带的发育过程,是由区域应力场的不断转变以及膏、泥岩的塑性上拱等应力作用共同作用的结果性,总体来说其演化经历了沙四段雏形期、沙三段和沙二段为主要发育期以及东营组时期为最后定型期三个阶段,终成现今之面貌。

利用了声波时差测井曲线和实测地层压力资料,在编制单井、剖面和平面压力系统结构图的基础上,概括出中央隆起带的压力系统在平面上呈环带状分布,与断层的分布相吻合,且中央隆起带断层对压力系统产生泄压或分隔作用。

通过对中央隆起带流体盐度的研究,总结出地层水中高盐度异常沿主要断裂带展布的规

律。在纵向上,随埋深增大,地层水矿化度有规律增大,2 000m 以下增大速率较快,一般大于 30 g/L,最高可达 350 g/L。上第三系较低,小于 10g/L。提出沙河街组四段上亚段—东营组的高盐度流体是超压高盐度流体沿断层运移和注入的结果。

中央隆起带流体的现今压力场、温度场、盐矿化度的研究揭示了中央隆起带油气运移的动力背景及油气成藏过程的流体活动特征,从压力与盐度关系的角度认识了断层封闭和开启的双重性。在断裂系统演化史分析与断层封闭性研究基础上,探讨区内营 8 断层、河 125 断层、民丰断层等主断裂带与油气聚集的关系。

在中央隆起带油气藏形成条件分析的基础上,提出断裂是中央隆起带油藏形成的关键因素,分析断裂及下部塑性膏-盐-泥层直接参与圈闭的形成和演化,提出中央隆起带的油气圈闭包括辛镇背斜型圈闭组合、东营盐拱背斜-断层簇型圈闭组合、现河盐-泥滚-滑脱断层簇型圈闭组合。

根据凹陷地层孔隙流体的压力、盐度特征以及流体运移动力和样式,本文划分出两个流体动力系统:超压流体动力系统、静水压力流体动力系统,厘定出中央隆起带油气运移的三种模式:侧向运移模式、垂向运移模式、阶梯状油气运移模式;在此基础上,建立了中央隆起带的三种油气成藏模式:超压 - 垂向运移成藏模式、静水压力 - 侧向运移成藏模式、静水压力 - 阶梯运移成藏模式。

# ABSTRACT

## Studies on Structural Evolution of Central Uplift Belt and Hydrocarbon Accumulation models in the Dongying Depression

The Central Uplift Belt in the Dongying depression is the most important oil/gas-bearing structure, so it has both theoretical and practical significance to study its structural features, evolution and the relation between faults and hydrocarbon migration and accumulation. According to theory of tectostratigraphy, new concepts and methods of modern tectonics and basin analysis have been applied to study structural framework, forming mechanism and evolutionary process with integrated analysis of tectonic geometry, kinematics and dynamics in this paper. Opening and close of faults are revealed by the combination study on the matching of lithology, time and attitude, the distribution of shale maculation, faults activity and faults mechanical features, which indicate close history of main faults and relationship with hydrocarbon accumulation. Finally, the theory of hydrocarbon accumulation dynamics has been applied to disclose the effects of complicated faults on hydrocarbon migration and accumulation and its mechanism in the Central Uplift Belt, and hydrocarbon accumulation models have been set up. In detail, it includes as follows:

(1) On the basis of the third-order sequence framework in the Dongying depression, this paper confirms the distribution and movement velocity of boundary faults, which is the prerequisite to study the relationship between syn-sedimentary faults and infilling sequences, and its effects on sedimentary systems. According to the characteristics of infilling, the palaeostructure surface and subsidence modeling, the stages of basin tectonic evolution has been classified. During early Tertiary, four rifting episodes are divided, which include early preliminary rifting in the Kongdian stage, lately preliminary rifting in the fourth member of Shahejie Formation depositional stage, main rifting in the third and the lower of second member of Shahejie Formation depositional stage and rifting converging episode in the top of second member of Shahejie Formation depositional stage. In late Tertiary, the subsidence and accelerative subsidence episodes are divided. The above six subsidence episodes are consistent with the second-ordered sequences units.

(2) Structural characteristics of the Central Uplift Belt in the Dongying depression have been analyzed. Through the interpretation of typical seismic profiles and the analysis of tectonic maps with coherent and seismic attributed analysis, the author illustrates the combination of faults in plan and vertical profiles, assembly relation in plan, forming order, incision relationship and so on in the Central Uplift Belt. Furthermore, the distribution of faults in the Central Uplift Belt show that the number of faults in the east part is larger than that in west part, where there are less large faults (just five second-ordered faults) and more small

ones (346 fourth - ordered faults) . In addition, according to the characteristics of faults profiles and their distribution, the Central Uplift Belt are divided into three structure zones: i . e . the Xinzhen and Xinlicun structure in the eastern part; the Liangjialou - Xianhe structure in the southwestern part and the Dongying - Haojia in the northwestern part .

(3) The study of basin tectonic dynamics indicate that the formation of the Central Uplift Belt is as a results of stretching, strike - slip movement and stress changes . Gravity glides in the Chennan fault and upward of ductile beds also have a significant affect on structures in partial zones .

(4) According to the modeling test, the forming mechanism of the Central Uplift Belt is not a simple factor, such as pure diapirism or lateral extension, but is the results of both combination processes . In other words, it is more reasonable that the forming process of the Central Uplift Belt is resulted from the combination processes of both lateral extension and gravity glides . Moreover, these mechanisms are not isolated, but interaction each other in the course of its evolution .

(5) Analysis of tectonic evolution history indicates that the evolution of the Central Uplift Belt is caused by variation of regional stresses and plastic upward of gypsum/ shale, which makes tectonic evolution complicated . In a word, the evolution of the Central Uplift Belt underwent miniature stage in the fourth member of Shahejie Formation, main development stage in the third and second member of Shahejie Formation and the final stable stage of Dongying Formation .

(6) By means of the acoustic logs and actual measurement of formation pressure, pressure systems in wells, profiles and plane have been revealed . The result shows that distribution of the pressure systems in the Central Uplift Belt has a shape in circular, which is coincident with the distributions of faults . Hence, the faults in the Central Uplift Belt can be taken as a good conduit or barrier on fluid in pressure systems .

(7) Through studying the characteristics of salinity of geofluids in the Central Uplift Belt, it is so clear that high salinity fluids are mostly distributed along main faults . In vertical, salinity of groundwater is increased with depth In general, increase of salinity is relative rapid below a depth of 2 000m, commonly, salinity of formation water is larger than 30g/ L, and can be up to the maximum of 350g/ L . In Neogene strata, salinity of formation water is small, usually less than 10g/ L . In addition, anomaly of high salinity fluids from the top of fourth segment of Shahejie Formation to Dongying formation is the results of charge and migration of overpressured high salinity fluids along the faults .

(8) Study on modern pressure, temperature and salinity fields reveals the dynamic background of hydrocarbon migration and characteristics of fluid flow in the course of hydrocarbon accumulation in the Central Uplift Belt . From the point of view of the relationship between pressure and salinity, double features of both open and close of faults have been identified . On the basis of analysis on system evolution and sealing of faults, the relation between main faults, such as Ying 8 fault, He 125 fault and Minfeng fault and so on, and hydrocarbon accumulation has been discussed .

(9) According to analysis of reservoir forming conditions, faults can be taken as a key factor of forming reservoirs in the Central Uplift Belt . Formation and evolution of traps are related to movement of faults and arch upward of lower plastic gypsum, salt and shale . Up to date, in the Central Uplift Belt, there are as follows traps discovered: Xinzhen anticline traps, Dongying diapir fold - faults traps and Xianhe salt pillow - slip faults traps .

(10) According to the integrated analysis on pore fluid pressure, salinity and the dynamics and patterns of fluid migration, two fluid flow systems are classified: overpressure and hydrostatic fluid dynamic system, and three patterns of hydrocarbon migration are set out: lateral migration pattern, vertical migration pattern and ladder migration pattern . Based on these, three fluid accumulation models are set up: overpressure - vertical migration and accumulation model, hydrostatic pressure - lateral migration and accumulation model and hydrostatic pressure - ladder migration and accumulation model .

# 绪 言

## 一、选题的目的和意义

本选题属于国家教育部重点基金项目“超压盆地流体系统及成藏动力学研究”的一部分,东营凹陷是我国最重要的富生烃凹陷,而东营凹陷的中央隆起带又是该凹陷最重要的油气富集带。

东营凹陷中央隆起带以断裂发育、油气藏类型丰富而著称。其复杂性和经典性在国内外享有盛名。多年的勘探实践证实东营凹陷中央隆起带上的几乎所有的油气圈闭均与断层有关,但这些油气藏形成机理尚未完全揭示,如控油断层何时封闭?何时开启?主要封闭模式有哪些类型?油气富集受哪些因素控制?能否预测油藏范围和油柱高度等等一系列问题。上述问题的解决无疑会加速勘探进程,降低勘探成本,提高开发效益,将取得显著的经济效益和社会效益。

该带经勘探开发证实是一个典型的复杂断块油气富集区,区内断裂系统不仅对断块的形成具有控制作用,而且对油气的运聚也有显著的影响。因此,断裂对该区油藏的形成、油气水的分布规律起着显著的控制作用。针对上述问题有必要开展断裂特征、形成机制及其与油气关系之间的进一步研究工作,这对下一步的滚动勘探和增储上产具有重要的现实意义。

本书研究的目的是查明中央隆起带的构造特征、形成机制和演化,运用含油气系统和成藏动力学的研究思路,研究中央隆起带油气输导条件、储层分布与产量以及封盖层的匹配关系,探索盆地中的异常压力及其化学动力学和流体动力学特征,研究与中央隆起带有关的流体活动,进而揭示断层的活动对油气的生成、运移和聚集的作用,总结油气富集条件和分布规律,为揭示研究区油气富集规律和有利地区预测奠定基础。

## 二、国内外研究现状和存在的问题

经过几十年的勘探实践,我国东部已经发现和开发了大批复杂断块油田。我国这类油田的总储量是世界同类油田所占比例最多的国家,同时我国也是唯一把复杂断块油田作为一种重要油气藏类型来开展研究的国家。我国许多学者都曾探讨复杂断块油田的油气富集规律问题,并取得了许多可喜的成果,但大多数研究者是从单一手段和单一学科来研究,很少以多学科为指导,应用多种信息和手段,对复杂断块油田的形成机制和富集规律进行综合研究。本书以多学科理论为指导,从盆地的形成机制入手,在断裂与油气运移关系、封闭性综合评价研究基础上,揭示了研究区第三系油藏的形成机理,为次生油藏的进一步滚动勘探开发奠定了基础。

含油气盆地的研究,经历了构造学研究(19世纪中至20世纪初)—沉积学研究(20世纪早中期)—沉积盆地动力学研究的螺旋发展过程。对复杂断块油田形成机制的探讨离不开含油气盆地的地球动力学环境分析。盆地动力学研究,强调了地球动力学环境对含油气盆地构造及沉积作用的控制。构造分析应包括几何分析、运动学分析和动力学分析三个方面,同时应考

虑其时空规律,完整地反映盆地的演化及构造样式的特征。

沉积盆地动力学是目前地学研究的热点与前缘。对其贡献最大的首推 Allen, Dickinson 以及美国地球动力学委员会。1990 年 Allen 等推出《沉积盆地分析——原理与应用》一书,一改过去从沉积学和地层学角度观察问题,而从岩石圈构造作用角度观察问题,且将沉积盆地作为一种动力学实体进行综合研究。

20 世纪 90 年代前期 Dickinson 对盆地动力学的主体思想进行了阐述,指出当今盆地研究应更多地转向动态过程分析;盆地演化常是多种地质过程的联合作用,在演化不同阶段,其动力学性质发生改变。简单的盆地分类已不能适应研究的需要,以往的盆地分类多属地貌—构造分类,即仅依据构造部位静态确定而不进行地球动力学参数确定;盆地研究的重点应从盆地类型转向盆地的动态演化过程。

1997 年美国地球动力学委员会设立专家组,编写了具研究纲要性质的《盆地动力学》一书,突出强调盆地形成与板块构造、地幔对流的关系,盆地流体系统、烃类、化学物质的运移及保存在盆地中的构造、气候和海平面变化的记录。在战略上强调把先进的动力学理论、精确的观测与计算机模拟相结合,用计算机技术精细模拟盆地演化的动力学过程,包括沉降史、构造史、热史、压力系统演化,以及烃类生成、运移、聚集等。

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能力。对断层封闭性的研究可以追溯到 20 世纪 50 年代初。1953 年 Hubbert 在 AAPG Bulletin 上发表了“水动力条件下的油气圈闭”的论文,并指出一般具有几厘米厚的泥质页岩在垂向上足以封闭较大的油气藏,颗粒大小为  $10^{-4}$  mm 的一套泥质页岩具有约  $3.22 \times 10^6$  N 的毛细管排替压力,理论上能封闭住 915m 高的油柱。1966 年 Smith 系统地论述了封闭性断层与非封闭性断层的理论判别模式,认为断层两侧介质的毛细管排替压力相似,断层属于非封闭性质;反之,则为封闭介质。并指出断层圈闭烃柱的高度与储集岩和界面岩石的毛细管排替压力差有关,压差越大,封闭能力越强。Watts (1987) 进一步研究了单相烃柱与双相烃柱的断层封闭问题,提出了“压力—深度图”的分析方法。Allan(1989)认为,断层控制远景构造的质量可以通过对圈闭内被断层面连接的地层构造产状的作图来实现。Downey(1990)认为在三种情况下,断层面可以起到开启裂缝的作用:

在埋藏深的张性环境下,断层面一般能起到传导性开启裂缝的作用; 在地层压力范围内,断层面常在张性环境中传导流体; 在断层活动期间,断层面可能传导油气。在这些情况下,断层可以起到开启裂缝的作用,并沿张性断层面提供运移通道。在分布有塑性岩层的地区,断裂作用可以使沿断层面的大部分渗透层涂抹上泥岩薄层,使断层封闭。此外,沿断层的粒化作用可局部改变并列储层中的侧向运移能力,降低断层带的渗透性。当流体通过被断层连接的储层时可导致孔隙充填的成岩作用发生(如胶结作用),使断层处于封闭状态,阻止流体的运移。综上所述,在地史中发生的构造变动形成的断裂具有封闭和开启的双重性质,使断层封闭的作用主要有塑性岩层的涂抹作用、粒化作用和成岩充填胶结作用等。

由此可见,国内外许多地质工作者们都在广泛研究和探索断层封闭性问题,并取得了一定进展和可喜成果。但多是从单一手段和单一学科来研究,理论上讨论较多,结合并解决油田实例的较少;定性分析较多,定量、半定量的研究较少。1989 年 Bouvier 提出泥岩涂抹势(CSP)的概念,使断层封闭性研究向量化方向迈进了一大步,但随后一些学者如 Lindsay 提出的泥岩沾污因子(SSF)以及 Yielding 提出的页岩刮削比率(SGR)也仅仅限于泥岩沾污带的讨论,并未使断层封闭性研究得到长足的发展,尤其是对断层封闭史研究较少,尚未形成一套系统的

断层封闭性研究的方法技术。此外,由于断层的运移和封闭本身是矛盾的统一体,许多学者谈封闭就不谈运移,谈运移就不考虑封闭,把两种特性人为地分开,不敢把二者统一起来研究,以至于对某些问题在认识上还有点混乱,实际工作中还会出现一些局部失误。因此迫切需要在这一领域加强研究,提高认识,这也是研究的目的所在。

### 三、研究思路与研究内容

本书以构造地质学、石油地质学、测井地质学和岩石力学的理论为指导,综合应用地质、地震、测井和油藏工程等多种信息和计算机手段,将定性和定量相结合,运用先进的动力学理论,对东营凹陷中央隆起带的构造演化机制进行了探讨,对控油断层与油气运移和聚集的关系进行了综合研究,通过对今温度场、压力场特征及其与已发现的主要油藏的关系,建立其成藏地质模型和含油气系统模型;研究区域古水化学特征对储层成岩演化和油气运聚的控制作用。

复杂断块群次生油藏形成机制的研究应紧紧围绕精细储油构造研究与石油地质综合研究相结合的原则,重点开展以下几个方面的工作。

#### 1. 盆地构造的几何学研究

几何学研究是研究控油构造的几何形态、空间分布,研究控油构造的产状、大小、控油构造各要素之间以及构造与相关构造之间的几何关系。针对本区的实际情况,研究内容应包括:断裂的基本特征研究; 构造样式的划分。

#### 2. 盆地构造的运动学研究

运动学研究是研究控油构造的运动特征和运动规律,目的在于通过分析盆地构造变形样式来揭示变形介质在构造变形过程中的运动方式,再现盆地本身的形成和演化过程。主要包括三方面的研究内容:

- (1) 构造演化史研究。通过盆地模拟,求取盆地的水平伸展量,再现盆地演化历史。
- (2) 沉降史研究。根据艾利均衡模式,再现盆地的沉降速率及过程。
- (3) 埋藏史研究。采用回剥的方法,通过埋藏史曲线的制作,再现盆地的沉积埋藏过程。

#### 3. 盆地构造动力学研究

动力学研究是研究控油构造形成发展的区域构造应力场、局部构造应力场的形成演化,揭示盆地形成机制的深层背景,以及盆地内走滑和伸展构造的叠加复杂关系,具体以构造地质学的最新理论为指导,通过构造物理模拟的手段来实现。随构造地质学的深入发展,构造物理模拟已逐渐发展成为一门边缘学科,并为油田构造的地质研究提供了有效的手段,成为油藏构造研究的重要内容。通过油藏的构造物理模拟研究,能够揭示控油构造的形成机制和分布规律,为油藏的预测服务。

#### 4. 油气运聚过程及成藏动力学环境分析

(1) 通过对今温度场、压力场特征及其与已发现的主要油藏的关系,特别是中央隆起带构造、岩性和地层隐蔽油藏,进行重点解剖,建立其成藏地质模型和含油气系统模型。

(2) 基底沉降、岩浆活动和构造断裂体系与流体压力场、地应力场和温度场的关系,研究断层、裂缝和不整合等油气输导系统的时空展布特征。

(3) 复杂断块群构造模式与油气关系研究。断块模式是局部应力场的产物,从断块的成因机制考虑,是具有成生联系的多个断块的集合体,在平面和剖面上具有一定的组合特征和展布形式,是油气勘探和地震解释中的重要地质模式,是油气最直接的控制单元。不同的断块模式控油规律不同,即使是同一断块模式在不同的部位,油气分布也不一致。因此,在油气勘探

和开发的不同阶段,识别断块模式,对于指导找油、缩小勘探周期以及油田的增产上储都具有十分重要的意义。

(4) 控油断层与油气运移关系研究。断层是油气运移的重要通道,一条断层能否成为油气运移的有利通道,将决定油气的富集层位和勘探目标。研究表明,断层能否输导油气,取决于油气运移时期断层的力学性质、断层与断层的组合关系、断层与地层的组合关系、断层两侧的界岩关系、断层在油气运移时期的活动规律以及断层在关键时刻的活动强度等诸多因素,故研究断层与油气运移的关系可以预测油藏位置。

#### 5. 石油地质基本特征研究

通过上述 4 个方面的研究从成藏动力学和构造的角度揭示了中央隆起带的油气藏分布规律和富集程度,重点对东营凹陷中央隆起带第三系油藏本身特有的生、储、盖和圈闭等成藏条件加以研究,揭示油藏的形成机制。

### 四、完成的任务研究结果

根据确立的研究思路和研究内容,本次研究共完成了以下几个方面的工作:

(1) 查阅国内外有关断块油田形成条件、分布规律、控制因素等方面的文献共计 100 余篇;收集、研究分析了与中央隆起带有关的科研报告 30 余本,近 30 万字,为研究区开展工作奠定基础。

(2) 分析研究了研究区大量的地质资料 1 000 口井的测井资料、地层倾角资料、数百公里的地震资料以及大量的试油资料、动态资料,使研究工作建立在坚实的基础之上。

(3) 在东营凹陷三级地层格架建立的基础上,根据盆地充填特征、古构造运动面和沉降史模拟,精细地划分了盆地构造演化阶段,在早第三纪裂陷期划分了 4 个裂陷幕,在晚第三纪裂后期划分出裂后热衰减沉降幕及加速期沉降幕。上述 6 个沉降幕分别与 级层序地层单元相吻合。

(4) 搞清中央隆起带断裂系统,研究了中央隆起带断裂的剖面和平面的特征,并以此划分了辛镇构造带、东营构造带、梁家楼—现河构造带三个构造区。

(5) 从盆地构造动力学研究入手,揭示了中央隆起带形成的动力学背景特征,东营凹陷是走滑构造、伸展构造和反转构造三个并存的构造系统,在空间上相互利用和改造,形成复杂的构造叠加和复合关系。开展了构造物理模拟,模拟了中央隆起带现今应力场的分布规律,模拟了研究区断裂体系展布,系统研究了东营凹陷和中央隆起带的形成演化机制,揭示了中央隆起带是在走滑、伸展和反转复合应力场作用的产物;在局部地区伴生了断裂的重力滑动作用和塑性层拱张作用从而形成现今复杂的构造格局。

(6) 通过对中央隆起带现今压力场、温度场、流体盐度参数特征的研究,揭示了中央隆起带油气运移的动力背景及油气成藏过程流体活动特征,从压力与盐度关系的角度认识了断层封闭和开启双重性。通过典型区块解剖及油气富集规律研究,建立中央隆起带断层的三种封堵模式,对中央隆起带几条主要控油断层的封堵性研究,厘定了断层与已发现的主要油藏的关系。

(7) 在中央隆起带油气藏形成条件分析的基础上,提出断裂是中央隆起带油藏形成的关键因素,分析断裂及下部塑性膏—盐—泥层直接参与圈闭的形成和演化,提出中央隆起带的油气圈闭包括:辛镇背斜型圈闭组合、东营盐拱背斜—断层簇型圈闭组合、现河盐—泥滚—滑脱断层簇型圈闭组合。

(8) 根据凹陷地层孔隙流体的压力、盐度特征以及流体运移动力和样式, 本书划分出两个流体动力系统: 超压流体动力系统、静水压力流体动力系统, 厘定出中央隆起带油气运移的三种模式: 侧向运移模式、垂向运移模式、阶梯状油气运移模式。在此基础上, 建立了中央隆起带的油气成藏模式。

(9) 制作大比例尺的油藏剖面、构造演化史剖面以及其他各类图件共计 100 余幅。

# 目 录

第一章 盆地区域地质.....	(1)
第一节 盆地构造格架.....	(1)
一、断裂构造 .....	(2)
二、背斜构造 .....	(5)
三、向斜(洼陷)构造 .....	(5)
第二节 区域沉积条件.....	(6)
第三节 层序地层格架.....	(8)
第四节 主要沉积体系及演化 .....	(11)
第二章 盆地沉降史分析及充填演化特征 .....	(15)
第一节 沉降史分析研究方法 .....	(15)
第二节 结果分析 .....	(16)
第三节 构造沉降史 .....	(17)
一、多幕裂陷充填期.....	(19)
二、裂后充填期.....	(20)
第三章 中央隆起带构造特征 .....	(22)
第一节 中央隆起带断裂特征 .....	(23)
第二节 中央隆起带构造分区及其特征 .....	(25)
一、辛镇构造带和新立村构造带特征.....	(25)
二、东营构造特征.....	(26)
三、梁家楼-现河庄断裂系统特征 .....	(27)
第四章 中央隆起带构造成因及演化 .....	(28)
第一节 中央隆起带形成的宏观动力学机制 .....	(28)
一、走滑应力场机制.....	(29)
二、伸展应力场机制.....	(30)
三、反转应力场机制.....	(31)
第二节 中央隆起带形成机制 .....	(33)
一、断裂的重力滑动作用.....	(33)
二、塑性层拱张作用.....	(35)
第三节 构造模拟实验与结果分析 .....	(38)
一、实验装置及实验方法.....	(38)
二、构造模拟分析.....	(40)

第四节	中央隆起带构造发育史分析 .....	(44)
第五章	中央隆起带油气运移特征 .....	(48)
第一节	中央隆起带油气运移背景场分析 .....	(48)
一、	流体压力场特征.....	(48)
二、	超压与油气聚集关系.....	(51)
三、	流体盐度特征.....	(52)
四、	流体压力与盐度的关系.....	(56)
五、	地层温度场特征.....	(56)
第二节	中央隆起带断层在油气运聚中的作用 .....	(57)
一、	断层具开启或封闭的两重性.....	(57)
二、	控油断层封闭模式.....	(59)
第三节	主要控油断层与油气聚集关系 .....	(63)
一、	营 8 断层与油气聚集关系.....	(63)
二、	河 125 一河 68 井断裂与油气聚集的关系 .....	(68)
三、	民丰断裂带与油气运聚关系.....	(72)
第六章	中央隆起带油气成藏模式 .....	(75)
第一节	油气成藏要素分析 .....	(75)
第二节	中央隆起带圈闭和油气藏 .....	(78)
一、	辛镇背斜型圈闭组合.....	(78)
二、	东营盐拱背斜-断层簇型圈闭组合 .....	(79)
三、	现河庄盐-泥滚-滑脱断层簇型圈闭组合 .....	(80)
第三节	中央隆起带流体动力系统特征及油气运聚模式 .....	(82)
一、	流体动力系统特征.....	(82)
二、	油气运聚模式.....	(83)
第四节	中央隆起带油气成藏模式 .....	(84)
结论	.....	(86)
致谢	.....	(88)
参考文献	.....	(89)

# 第一章 盆地区域地质

东营凹陷属于渤海湾盆地济阳拗陷中的一个中新生代断陷,东西长 90km,南北宽 65km,面积 5 700km<sup>2</sup>。其南为鲁西隆起,北为陈家庄凸起,东有青坨子凸起,西有滨县、青城凸起,是一个四周有凸起环绕的凹陷。凹陷具有北断南超的箕状凹陷特点,凹陷内部发育一系列正向二级构造带,近东西走向的中央断裂背斜带就发育于深洼陷之中。

## 第一节 盆地构造格架

东营凹陷属渤海湾盆地济阳凹陷南部的一个次一级凹陷,凹陷中构造特征是褶皱少、断层多,不同性质、不同级序的断层组成各种型式的断裂,它们相互联合或复合,形成现今复杂的构造面貌。东营凹陷早第三纪断陷湖盆与重力异常区相对应,依据区内的构造特征、构造发育历史和构造应力场,其地质构造主要由两个同向错位叠合的箕状洼陷及两者之间的隆起带所组成。由此可以划分为以下 5 个基本构造单元:洼陷带东部为北东向的东营东部洼陷、博兴洼陷、中央隆起带、北部陡坡带和南部斜坡带(李筱瑾,1997)。图 1-1 中的 A—A 剖面明显地表现了东营凹陷两洼陷—隆起和北部陡坡带及南部缓坡带的地质结构。

位于北部的是永一胜一利一滨陡坡带,发育在陈家庄和滨县凸起与凹陷接触,长 100km,主要由永南、胜北、利津、滨南 4 条同生断裂组成,呈向北凸出的左行斜列展布,在下降盘常发育断阶带、逆牵引构造和其他断裂组合型式。上升盘常发育超覆不整合和削蚀不整合。位于凹陷之中的是辛镇 - 东营 - 现河庄 - 梁家楼中央隆起带,东西长 50km,南北长 8 ~ 14km,面积 550km<sup>2</sup>,东端主要由被两条东西向纵断层破坏的辛镇背斜组成。两端则是由北东向延伸,向南凸起的三条弧形断裂组成,平面上呈现北东收敛、南西撒开的帚状展布,两者在东营地区复合。位于深洼陷区的是洼陷带,自沙三段时期以后,由于东营凹陷“中央背斜隆起带”的发育,该构造带在东部洼陷沉降中心的升起,逐渐把东营东部洼陷分隔成几个次级小洼陷,即南部的牛庄洼陷、西部的利津洼陷和北部的民丰洼陷。这些次级洼陷没有北断南超式的箕状结构,构造相对简单,主要为大型向斜或伴生了为数不多的断层,它们都是下第三系的深陷区和沉积中心,也是重要的生油区。位于凹陷南部的是八面河—草桥—金家斜坡带,构造简单,主要为北倾单斜,其上发育了断鼻构造带,东部为北东向的王家岗和八面河断鼻构造带,西部有北西向的草桥—纯化镇鼻状构造带,其间是陈官庄断阶带。

除了中央背斜隆起带之外,在盆地的陡坡带和缓坡带还可以进一步划分出几个次级正向构造单元。在盆地陡坡带边界层的上升盘是上第三系潜山披覆构造带,下降盘为陡坡断阶构造带;在缓坡带部位有缓坡断阶构造带、下第三系潜山披覆构造带和单斜构造带。上述构造带沿东营凹陷的长轴方向延伸,顺短轴方向分带。

研究表明,盆地中正、负构造单元之间的边界不仅是构造转换带,而且也是重要的沉积相转换带,对沉积体系、厚度和砂体的分布有重要的控制作用。此外,负向次级构造单元决定了凹陷油气潜量的大小,而正向次级构造带则控制了油气的聚集。因此,对盆地内次级构造单元及其规律的认识对油气勘探开发有重要指导意义。

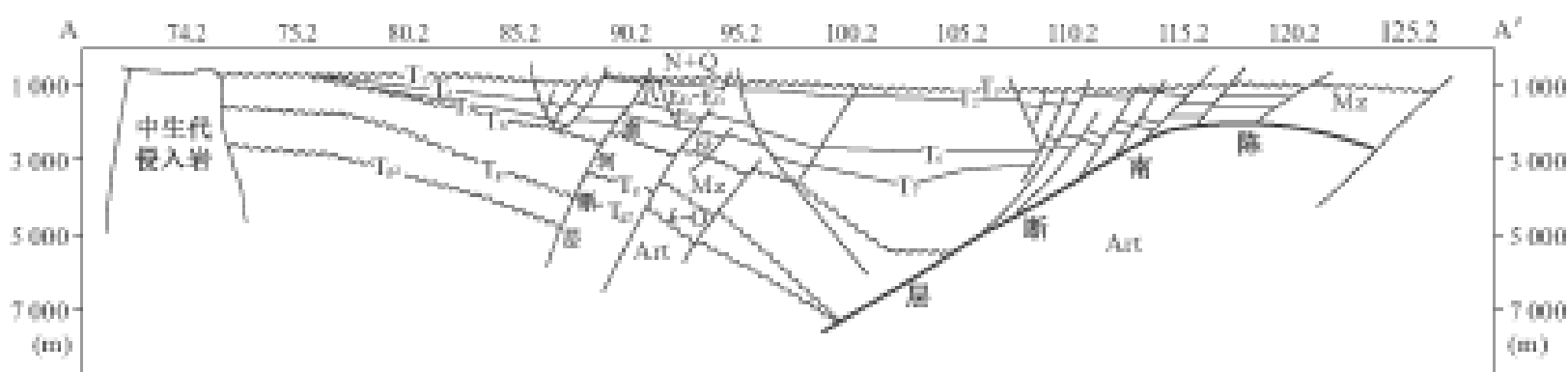
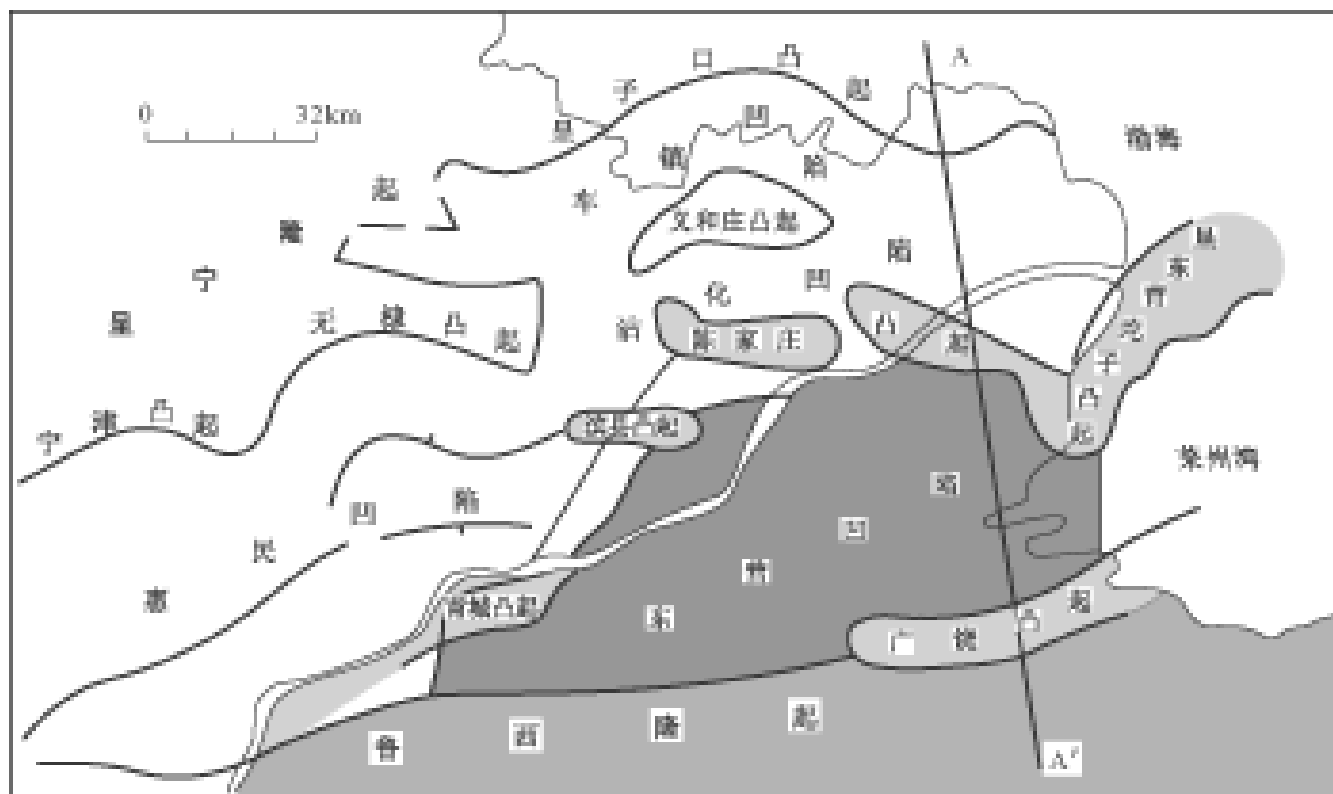


图 1-1 东营凹陷区域地质概况

通过穿越全区的密集三维地震网络的解释和分析,结合测井及录井、火山岩等资料,以区域性大构造网络剖面的编制为基础,揭示了盆地的总体构造格架特征,阐明了盆地构造的空间组合和分布及其演化特征。现简述如下。

### 一、断裂构造

该凹陷的主要断裂按断裂的走向可分为 NE、NWW、NEE 和 EW 向 4 组(图 1-2)。NE 向断裂如高青、八面河断裂断面倾角较陡,断距大断面倾向均为 SE 向,这些断层均切穿了盆地基底,到达花岗片麻岩,断层两侧伴有中新生代火山岩。它们不但控制中生代沉积,也控制了下第三系的沉积,据此推断这些断层属中生代郯庐断裂系 NE 向走滑断层转化为下第三系走滑正断层。

NWW 向断层在本区主要为石村断裂、青坨子-永安断裂。它们的断面形态一般呈铲式,控制了中、新生代的沉积。中生代地层的发育完全受这两条断裂的控制,沙四、孔店组地层的发育也受其影响,厚度中心平行于 NWW 向断层。据此断定它们是中生代( $J_2-K_1$ )左旋剪切应力场而派生的 NWW 向张性断层。

EW 向断层在本区为陈南断裂及其派生的胜北断裂,其断面形态呈铲式或坐椅式。二者组合形成典型的伸展构造样式。EW 向陈南断裂发育早,控制沙四、孔店沉积中心的展布,而胜北断层发育较晚,主要控制了沙三段的沉积。

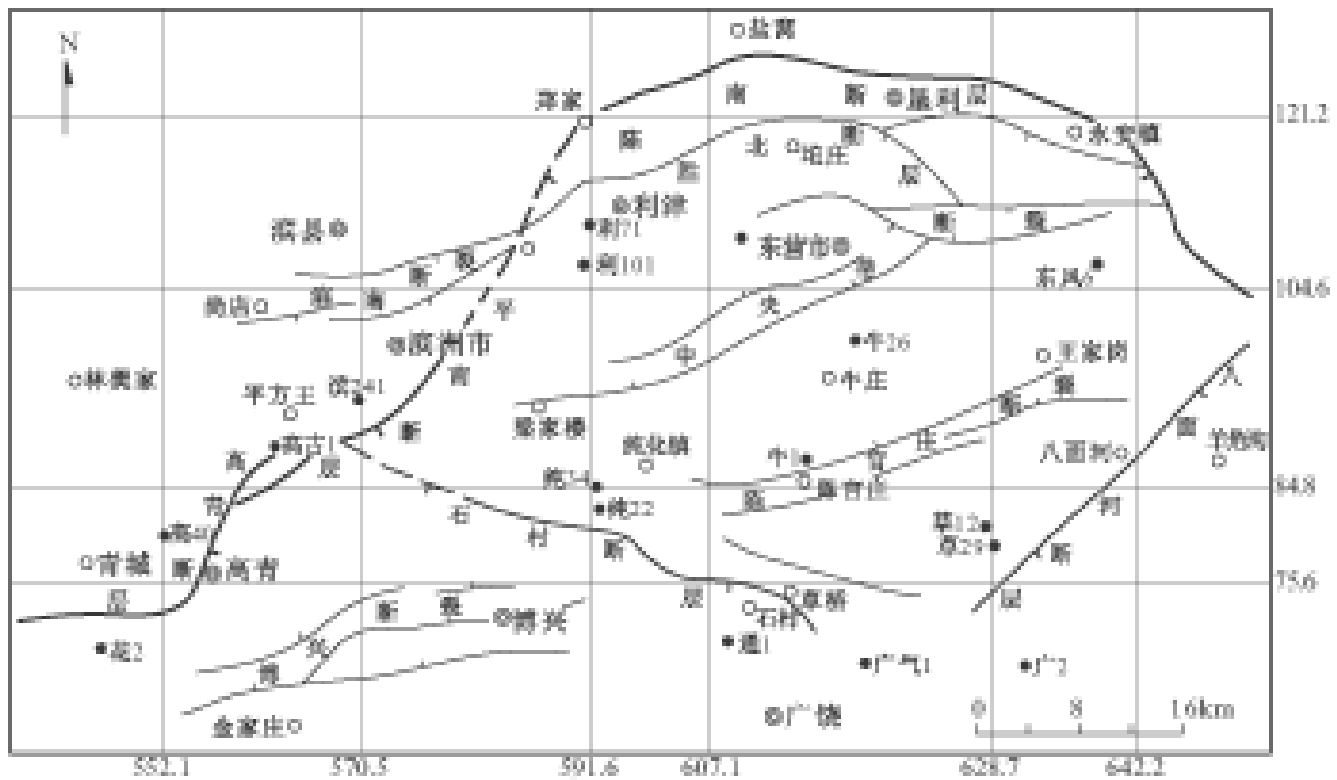


图 1-2 东营凹陷主要断裂平面分布图

NEE 向断裂在本区主要发育于博兴断裂带、陈官庄断裂带、王家岗断裂带和梁家楼—现河构造带,它们一般只切割下第三系,断面一般为铲式或平面式,主要控制沙三段的沉积,是典型的下第三系同沉积构造。

不同规模的断层在地质演化中的作用是不同的,所以对断层进行分级是地质工作中一项十分重要的工作。在不同类型的地质工作中由于出发点、着眼点以及研究对象的不同,分级标准有重大差别。杨祖绪(1989)在研究华北第三纪断陷构造中将断陷盆地中的第三纪断裂分为五级三类,即:深断裂(一级断裂)、基底断裂(二、三级断裂)和盖层断裂(四、五级断裂);漆家福、陈发景(1995)按断层规模大小及在盆地构造演化中的作用分为基底主断层、基底次级断层和主要盖层断层、次级盖层断层等两类四级。在这里所讨论的是复杂断块油田,在断层级别划分的过程中,考虑了复杂断块油田的特殊性,依据断裂的规模,断裂对沉积和构造演化的控制作用以及断裂的形成、活动延续时间和切割层位,将研究区断层划分为四级,其中主要断层的属性特征见图 1-3 及表 1-1。

### 1. 一级断层

它们是控制凹陷发生和发育的大断层,是构成凹陷(洼陷)与凸起边界与盆地共生的断层。这类断层延伸长,落差大(可达千米),活动时间长(从中生代到晚第三纪),均为正断层,分为北东向和北西向两组,构成自东北向西南一大一小两个半地堑的断裂边界。区内主要有陈南断层、博兴断层、八面河断层等。主走向为 NEE 的陈南断层具弧形特征,自始至终控制了凹陷的发生、发展。断层西段后期又继续向西南发展至高青地区;其东段至永安镇处向南东扭转,可能与断裂形成时期( $J_2-E_{k1}$ )的古构造背景和其时东部郯庐断裂的左行牵引有关;陈南断层利津段后期(早第三纪)停止活动,使得利津洼陷与西部的流钟洼陷在沙三后期连成一体。活动强度和规模仅次于陈南断层的 NW 向石村断层,东段强度大于西段,在西段与平南断层交汇处已不能再充当利津与博兴两洼陷新生界的分界断层。其中八面河断层继承性活动至馆陶期,在凹陷的演化过程中似乎具有传递断层的性质,起着调节伸展的作用。这类断裂的共同特点是皆为控凹断裂,对东营凹陷地层和构造的发育演化有重要的控制作用。它们相当于任纪

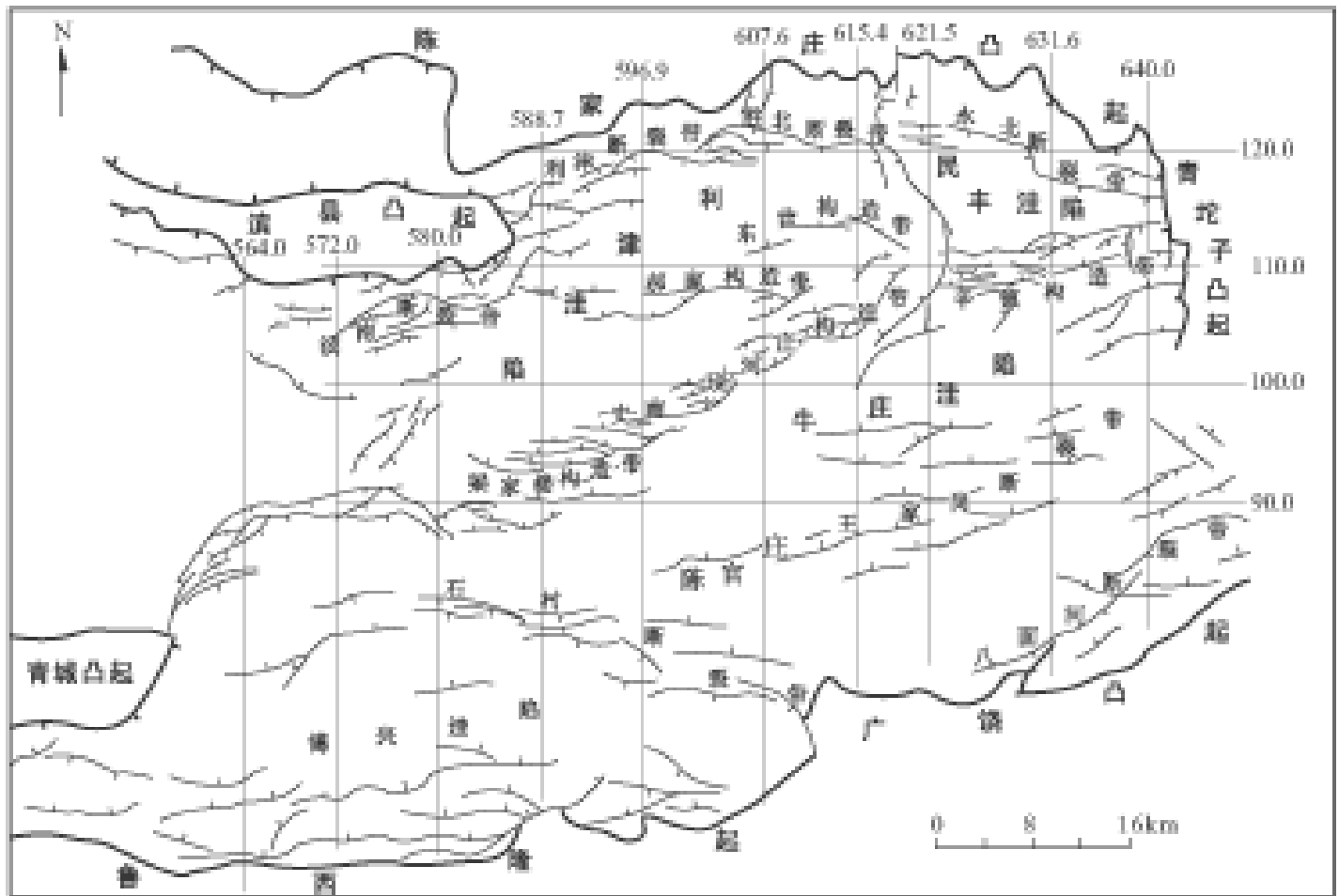


图 1-3 东营凹陷构造格架图

表 1-1 东营凹陷主要断层要素表

类别	名称	延伸 (km)	走向	倾向	倾角 (°)	最大落差 (m)	新生界最大落差 (m)	水平断距 (m)	强烈活动期	样式	
一级断层	陈南	西段	40	NEE	SSE	10~20	> 10 000	7 800	23 000	$J_1-K_1, Ek-E_{s4}^{\downarrow}, E_{s3}, Ed$	铲式
		东段	40	NWW	SSW	30~40		18 000			
	平南	20	NE	SE	40~60	> 8 000	6 400	6 000	同上	铲式	
	高青	西段	18	EW	S	30~50	2 200	2 200	3 500	$Ek-E_{s4}^{\downarrow}, E_{s3}, Ed$	铲式
		东段	32	NNE	SEE	50~60	4 800	4 800	4 000		
	石村	40	NW	SW	30~45	2 800	1 900	3 500	$J_2-K_1, Ek-E_{s4}^{\downarrow}$	铲式	
	八面河	36	NE	SE	50~60	700	300	400	$J_2-K_1, Ek-E_{s4}$	平面状	
博兴	35	NEE	NNW	40~60	1 200	1 200	1 000	$Ek-E_{s4}$	平面状		
二级断层	陈官庄	45	NEE	NNW	50~60	450	450	350	$Ek-E_{s4}^{\downarrow}, E_{s3}$	平面状	
	胜北	50	EW	S	40~60	2 800	2 800	2 500	$E_{s3}, Ed$	铲式	
	滨南	25	NEE	SSE	34~45	220	220	250	$E_{s3}, E_{s4}, Ed$	平面状	

舜(1980)所称的壳断裂,或杨祖绪所划分的二级断裂。

## 2. 二级断层

控制凹陷内部二级构造带的断层,也就是控制凹陷内构造格局的断层,多为走向断层,且

具同生断层性质,就是它们决定了凹陷的二级构造带 NE 向分布,如胜北断层、陈官庄断层、中央隆起带断层和滨南断层等。这类断层对新生代凹陷的发展产生了一定的影响,控制了二级构造带,也就是控制了油气聚集带的分布,并具有指示盆地内部构造活动的性能。如凹陷两坡的盆倾断裂系统指示其伸展作用;左行雁行排列的盖层正断层又反映了左旋的张扭应力场等。相当于杨祖绪(1989)的三级断裂,即控带断裂。

### 3. 三级断层

多为下第三系内部断裂,少数切入基底,断距 100~500m,数量较多,形成一般晚于二级断裂,对沉积有一定的控制作用,并常将二级或亚二级构造带切割成不同形状的区块,是划分三级构造或断块区的重要依据,其影响一般不跨越二级构造带。

### 4. 四级断层

为小型断层,断距一般在 100m 以内,延伸短,多为二级或三级断裂的派生断层,数量极多,没有固定的延伸方向和倾向,这些断层依附于先成断裂,没有对先成断裂构造格局造成质的破坏,只是使其进一步复杂化了。如中央隆起带内四级小断层异常发育,但大都没有影响到中央隆起带整体的构造格局及背景。

无论从哪个角度看,东营凹陷的断裂构造,即断层和由它们分割的断块构成的复杂块断系统都是其新生代构造变形的主要表现形式。

上述主要断裂如按断裂活动期的长短、切割地层的程度和对盆地及其构造带或局部构造的控制作用不同可分为三级。一级断裂如高青-平南断层、陈南-永安-青坨子断裂发育时间早,控制了凹陷的形成和演化。二级断裂如胜北断裂带、陈官庄-王家岗断裂带、梁家楼-现河断裂带、博兴断裂带,它们一般只控制本构造带地层的发育和油气的聚集。三级断裂是二级断裂的派生断裂,断距小、沿伸短,数量众多,主要控制油气圈闭的形成。

## 二、背斜构造

该凹陷的背斜构造主要是同沉积背斜,有胜坨-宁海滚动背斜、辛镇-现河底辟背斜。

胜坨-宁海滚动背斜是该凹陷最大的含油气构造,它是发育在胜北断层上盘的大型滚动背斜构造,其滚动背斜的主体由沙三上、沙二段组成,走向呈近 EW 向,背斜又被三级张性断裂复杂化。

辛镇-现河底辟背斜构造:沿现河-辛镇断裂构造带分布,其主体由沙三段—东营组构成,据分析该构造形成于沙二段以后,其成因与沙四段石膏层、膏泥岩及沙三段泥岩等物质沿断裂带底辟作用有关。

## 三、向斜(洼陷)构造

它是受主要断裂控制的负向构造单元,一般分布在控洼断裂的下盘(如博兴洼陷、利津洼陷、民丰洼陷)或背斜构造的侧翼如牛庄洼陷。洼陷带主要发育了巨厚的下第三系,是烃源岩的主要发育区。

下第三系构造按其平面和剖面上的组合形式及其对油气聚集的控制作用,可进一步划分为陡坡断阶构造带(如滨南-利津陡坡断阶构造带、胜北永安陡坡断阶构造带、平南-高青陡坡断阶构造带)、缓坡断阶构造带(如陈官庄-王家岗缓坡断阶构造带、博兴缓坡断阶构造带)、中央底辟断裂背斜带、洼陷带(牛庄、民丰、利津、博兴洼陷)和位于盆地边缘的地层超覆带(图 1-3)。

## 第二节 区域沉积条件

东营凹陷作为渤海湾裂陷盆地的次级凹陷,早第三纪沉积具有明显的旋回性。每个旋回表现为冲积扇—河流—滨浅湖—深湖、半深湖—浅湖、残留湖—河流、三角洲平原、沼泽等的演化规律,每个旋回也有其自身的古环境及古水系、古生物化石组合及岩性组合和电性特征。

燕山运动之后,东营凹陷经历了晚白垩世至古新世的抬升剥蚀。始新世,在隆起的基础上开始发生断陷沉降,在陈南断层和高青-平南断层等边界断层的控制下形成了周围为凸起所环绕的东营半地堑掀斜断块盆地。

孔店组早期,气候稍有湿润,此时山谷相间,洼陷范围小,湖水聚集有限,以形成局限湖泊和冲积扇、近源冲积平原为主。该时期东营凹陷分为南北两个互不连通的次级洼陷:博兴和东营北部洼陷。

孔店组后期至沙四早期,气候转为干旱,在凹陷四周发育巨厚的红色冲积扇,洼陷中心则间歇性地沉积了盐湖相膏盐层和泥岩。

沙四晚期气候稍转湿润,在经历了早期的剥蚀后,凹陷内物源供给减少,湖水面积扩大而清澈,形成了广延而薄层的砂质和碳酸盐质滩坝沉积体系,只在凹陷中北部有半深湖、深湖相沉积体系。

沙三段气候湿润,早期物源供给少,在基底持续沉降的条件下,可容空间增大,形成欠补偿的大面积半深湖-深湖沉积。中期开始沿凹陷近东西轴向发育远源河流三角洲充填。此阶段沉积物补给速度和基底沉降速度基本相当,以滨浅湖、深湖和半深湖为主;晚期,来自四面凸起上的物源注入盆地,形成过补偿沉积。

沙二段气候转为干热,凹陷被填平后,遭受剥蚀。后期边界断层重新活动,开始了新一期充填演化阶段。

沙一段沉积时,气候又开始变得湿润,早期物源供给量小,基底沉降缓慢,从而广泛发育了砂质和碳酸盐质滨浅湖及半深湖沉积。

东营组沉积上为河流-三角洲持续向湖内进积并再一次将湖盆填平。此时,渤海湾盆地抬升经历了准平原化,形成冲积平原沉积,即馆陶组地层。

现根据已有的资料 以及钻井资料,分别叙述如下:中央隆起带钻遇地层自下而上为沙河街组( $E_s$ )的沙四段( $E_{s4}$ )、沙三段( $E_{s3}$ )、沙二段( $E_{s2}$ )、沙一段( $E_{s1}$ )、东营组( $E_d$ )、馆陶组( $N_g$ )、明化镇组( $N_m$ )和平原组( $Q_p$ )(表 1-2)。

各组、段岩性特征简述如下:

### 1. 孔店组( $E_{1-2k}$ )

在东营凹陷只发育孔二段( $E_{1-2k_2}$ )和孔一段( $E_{2k_1}$ )。

孔二段( $E_{1-2k_2}$ )为灰色泥岩、碳质泥岩夹粉砂岩,局部夹紫灰色泥岩。与下伏白垩系呈角度不整合接触。孔一段( $E_{2k_1}$ )为棕红色泥岩、粉砂质泥岩与棕褐色、灰色砂岩、粉砂岩互层。

### 2. 沙四段

沙四段下部沉积为浅灰色、杂色、灰白色砂、泥岩互层夹石膏、盐岩;中部为巨厚浅灰色硬石膏层、深灰色泥岩夹薄层灰黄色杂卤石、钙芒硝层,动物化石甚少,孢粉化石较为常见;上部

表 1-2 东营凹陷中央隆起带钻遇地层简表

层 位		主 要 岩 性
平原组		松散黄色泥砂岩
明化镇组		浅棕红色泥岩
馆陶组		上部为泥质粉砂岩,下部为含砾砂岩
东营组		灰白色含砾砂岩,粉砂岩及浅灰绿色泥岩和棕红色泥岩
沙河街组	沙一段	上部粉砂岩,中部泥岩夹生物灰岩,下部泥岩夹粉砂岩
	沙二段	浅灰绿色疏松粉砂岩及粉砂岩、泥岩,含少量岩屑夹灰绿色泥岩
	沙三段	上部泥岩夹粉砂岩,中部砂岩夹泥岩,下部暗色泥岩夹薄层砂岩
	沙四段	上部泥页岩、油页岩、灰质泥岩为主,下部砾岩
孔店组	孔一段	棕红色泥岩,粉砂质泥岩与棕褐色、灰色砂岩、粉砂岩互层
	孔二段	灰色泥岩、碳质泥岩夹粉砂岩,局部夹紫灰色泥岩

为厚 200m 以上的灰质岩和页岩。

综观全区,本段地层厚度较大,分布广泛,根据东风 1、东风 3、东风 8 等深井资料推测,厚度在 800m 以上。

### 3. 沙三段

该段下、中部时期济阳拗陷湖泊最为兴盛,中央隆起带处于半深湖-深湖相,沉积了厚达 1 000 多米的暗色泥岩,为本区最主要的生油岩系,其中夹数套厚层三角洲前缘滑塌浊流砂体,广泛分布于中央隆起带,但连续性差。

沙三中段地层以“鼓包泥岩”为顶界,以油页岩集中段顶界为底界,“鼓包泥岩”是含灰质、砂质的泥岩。油页岩集中段属于沙三下地层,为棕褐色、质纯、油脂感强、成薄层状的页岩,可燃烧。油页岩多与深灰色泥岩互层,内含大量的介形虫化石、螺化石及植物碎片,油页岩集中段厚度一般大于 100m(营 89 井厚度达 110m)。

### 4. 沙二下段

按国内地层划分应该属于沙三上,这里是以化石中国华北介的出现为依据。因为中央隆起带砂层组划分一直将沙三上划分为沙二下,为适合中央隆起带目前开发现状,此处仍作沙二下论述,沙二下包括  $E_{2s}^{稳}$  砂层组。

沙二下底部以灰绿色泥岩与砂岩含砾砂岩互层夹碳质泥岩。上部为灰绿色、紫红色泥岩与砂岩,含砾砂岩互层,地层厚度 150~200m。向上以三角洲前缘砂岩为主,泥岩和砂岩中常夹有灰色泥岩。过渡带的辛 50、辛 17、辛 47 断块三角洲前缘砂体尤为发育(如辛 17-45),单个砂层厚度一般为 20~40m。沙二下储层岩性多为粉、细砂岩,沙二下砂体的沉积相又可分为远岸砂坝及河口砂坝等微相。远岸砂坝以灰白色、灰色粉砂岩及深灰色泥岩为主,具波状层理及透镜状层理,河口砂坝以灰色细砂岩、粉砂岩为主,砂岩分选好,砂岩构造从上至下有水平薄纹层理、水平层理及斜层理。

### 5. 沙二上段

上部为中—厚层粉—细砂岩、中砂岩与紫红色泥岩、灰绿色泥岩互层。下部为灰绿、灰色

泥岩与透镜体粉砂岩互层,以及多层碳质泥岩、薄层灰质粉砂岩条带发育。沙二上砂体分布较不稳定,地层厚度在 250~270m,砂层厚度一般在 20~35m,砂层厚度与地层厚度比值为 20%~35%。

E<sub>2</sub><sup>1-3</sup> 砂层组砂体大部分都属于曲流河河床微相,砂体为中—厚层粉—细砂岩、细砂岩,单个砂层厚度一般为 2~4m,厚者可达 6m,沙二上砂体除沙二<sup>1</sup> 砂层外,在平面及纵向上分布都不稳定,河床呈现东西走向,宽度一般在 800m 左右。

#### 6. 沙一段

地层厚度一般为 210~320m,为湖泊相沉积,以大套灰绿、灰色泥岩为主,上部夹中—厚层细砂岩及生物灰岩,中部夹针孔灰岩,下部为白云岩。顶部的“豆状砂岩”在全区分布,一般为 10~15m 厚,厚者可达 20m,薄者可达 5~6m。由于分布较稳定,砂层物性好,所以油层产能高。沙一段中其他薄砂体虽然厚度较薄,一般为 1~2.5m,但由于分布较稳定,储油物性好,也是高产油层(如营 8 断块区)。砂层厚度与地层厚度比值较小,一般为 20%~30%。

#### 7. 东营组

东营组残余地层较厚,厚度变化较大,一般在 350~580m 之间,上部为灰绿色泥岩夹灰白色砂岩、含砾砂岩、灰白色块状砂岩;中部棕红、紫红、灰绿色泥岩及细—粗砂岩、含砾—砾状砂岩互层;下部厚层块状棕红色泥岩、中—厚层粗—含砾—砾状砂岩与泥岩互层,底部夹少量石英质页岩薄层。为河流—湖泊相沉积。

在辛镇构造上,其东端受“Y”型断层影响,出现忽厚忽薄的特点。有断层的地方厚度等值线的变化梯度大。断层下降盘厚,上升盘明显变薄,反映断层对沉积的控制作用明显。总的趋势为东西走向的长条形等厚线,地堑内部厚,两翼地层薄,如南翼的辛 133、辛 111 等断块上厚度仅 300 余米。在东营构造上,地层总体较薄,其中营 1、营 14 断块最薄,仅 300m 左右,其余区块介于 400~450m 之间。

#### 8. 馆陶组

馆陶组厚度在 250~350m 之间。上部棕红色、棕黄色泥岩、泥质粉砂岩及灰白色粉细砂岩、灰绿色粉砂岩互层;下部为灰白色含砾—砾状砂岩及细砾岩夹多层灰质砂岩薄层。

#### 9. 明化镇组

厚度在 620~710m 之间,上部以棕黄、棕红色泥岩为主,夹黄色棕红色泥质粉砂岩、粉砂岩;下部为棕红色泥岩夹棕黄色泥质粉砂岩、粉砂岩及灰绿色粉砂岩,底部含石膏。

#### 10. 平原组

厚度在 320~390m 之间,岩性以土黄色、土红色粘土、砂质粘土为主,夹土黄色、灰色粉砂层、泥质粉砂层,底部含砾石。

中央隆起带上第三系及第四系均为冲积平原相,全区厚度分布变化不大,反映出当时地形起伏幅度不大。馆陶组沉积时期,二级断层对地层发育仍有较明显的作用。到 N<sub>m</sub>+Q 地层沉积时期,本区明显处于拗陷期,基本不受下第三系构造格局影响,地层厚度分布上也明显反映出这一点。

### 第三节 层序地层格架

从以上各层系的地层展布特征看,它们都有着共同的特点,即厚度分布受构造格局和物源的双重控制。在辛镇构造中,地层厚度等值线与断层走向基本平行,呈长条形,地堑内部地层

厚,两翼地层薄;在过渡带上,地层均较厚,并且向西有变薄的趋势;在东营构造上,总的来说,西北部地层较薄,西南部营 11 洼陷和北翼较厚。可以推断,下第三系沉积时期物源来自东面和北面两个方向,东面来自青坨子凸起的物质和北面来自陈家庄凸起的物质,在东辛地区交汇在一起,共同沉积下来。

三级以上层序界面可以从地震剖面上识别。在地震剖面上,不整合面之上,地震反射终止类型为上超、下超;不整合面之下,地震反射终止类型为顶超、削截。在不整合面处,自然电位曲线基线明显偏移,自然伽马能谱测井  $Th/U$  剧增,有若干明显的峰值,视电阻率值突增或突减。在层序界面附近,出现反映有沉积间断特征的岩性组合,如反映地表暴露的土壤或根土层,特别是在盆地边缘,岩性组合表现为明显的差异性,垂向分析中会发现上下相序突变,穿过此界面沉积相带向盆地移动显著,反映湖平面快速下降。界面上下古生物组合具有明显的变化,甚至在局部地区存在化石带的缺失。济阳坳陷的一、二、三级层序界面多具有十分明显的不整合面特征。

### 1. 一级层序界面

下第三系底界( $T_R$ )。区域性角度不整合面,全坳陷范围发育。下伏地层包括中生界、古生界或更老地层,多数褶皱变形或高角度倾斜。第三纪地层与不整合面的接触关系在各凹陷中部为大体平行的样式;在斜坡上往往为超覆样式。全区易于追踪对比,连续性中等到较好,振幅中等偏强(图 1-4)。

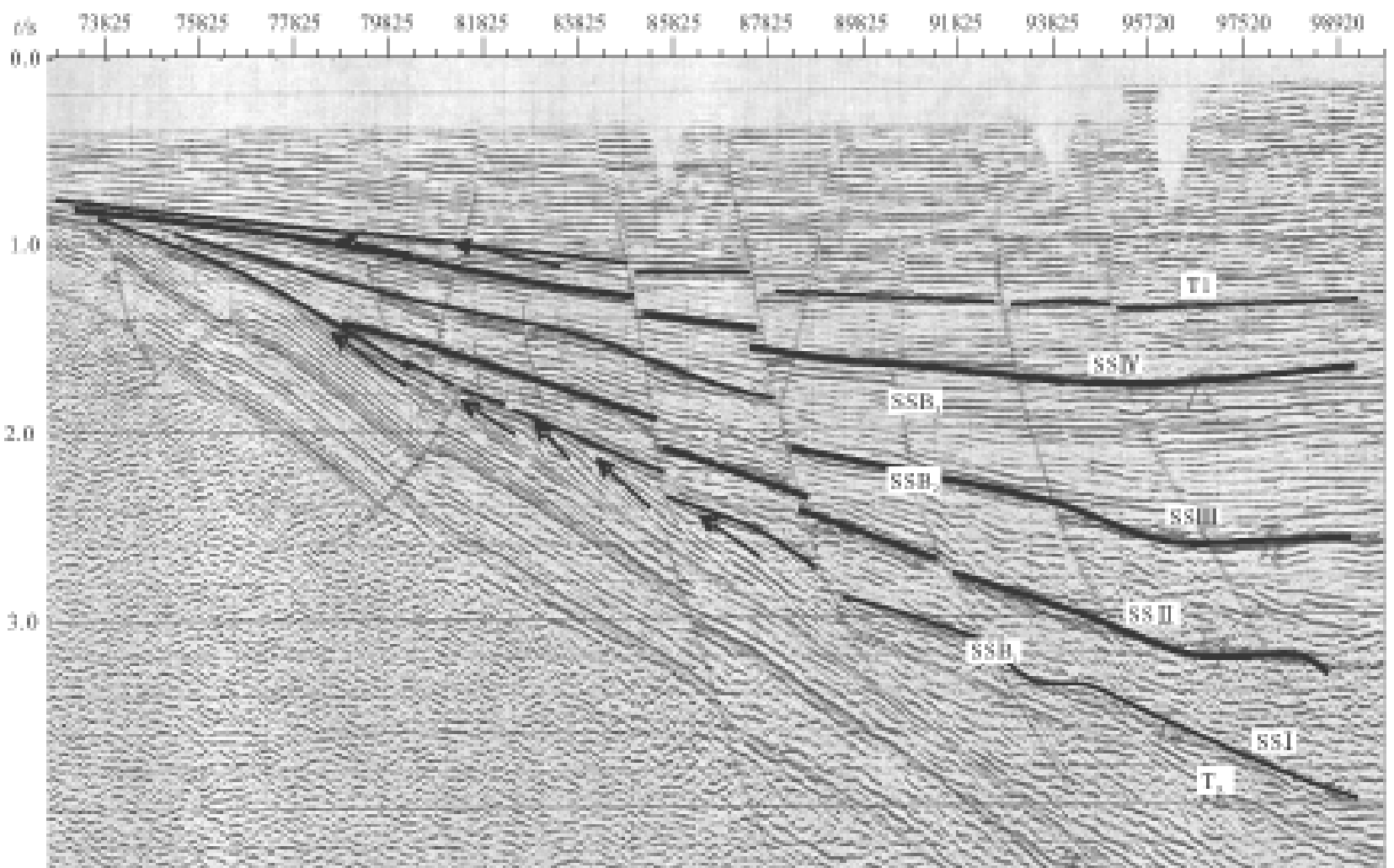


图 1-4 东营凹陷 615.0 测线一级层序界面( $T_R$ )反射特征

下第三系顶界( $T_1$ )。济阳坳陷下第三系沉积末期,受东营运动的影响,济阳坳陷发生整体抬升,湖平面下降,沉积物露出水面,遭受长时期的风化、剥蚀,形成区域大范围的不整合,横

向上延伸距离远,纵向上持续剥蚀时间久。不整合在地震、测井、岩性剖面上都有明显的反映。在东营凹陷 642.2 测线上,  $T_1$  反射同相轴可见明显的削蚀现象(图 1-5)。

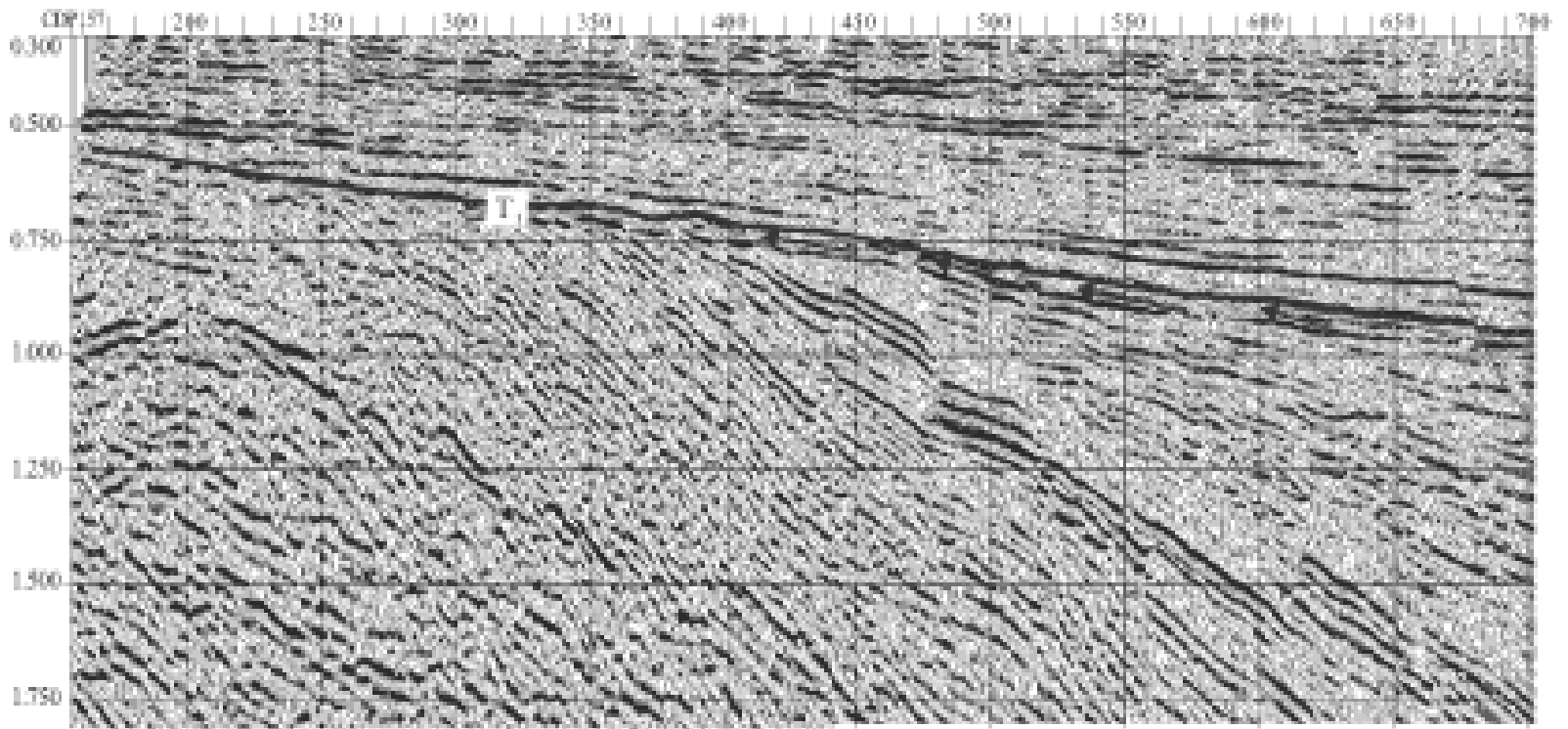


图 1-5 一级层序界面( $T_1$ )的削蚀现象

## 2. 二级层序界面

济阳城陷下第三系有四个二级层序:孔店组、沙四段、沙三下—沙二下、沙二上—东营组。

沙四下与孔店组之间的层序界面在岩性上表现为:沙四下砂砾岩段泥多砂少,孔店组上部砂泥岩段砂多泥少;沙四下仅泥岩为红色,孔店组砂、泥岩均为红色。孔店组电阻率基值稍高,与沙四下之间有个台阶。

沙三、沙四分界面( $T_6$ )不整合面广泛发育。在沙四段发育的地区与之平行或以微角度相交;在斜坡地区沙三段地层不断上超。沙三下与沙四上之间的分界面在 595.4 地震剖面上可见削截现象(图 1-4),沙三下底油页岩对应视电阻率曲线为尖峰状,基线呈弧形,沙四上视电阻率曲线也为尖峰状,但基线平直。

沙二段上、下亚段的分界面( $T_2$ )在凹陷中地层大致平行,斜坡超覆,凸起上为披覆,在湖盆的边缘地区,可见到明显的上超、削蚀等反射终止现象(图 1-4)。从沙三段到沙一段沉积期间,湖盆的沉积范围随之扩大—缩小—扩大,沙二段暴露水面,为红色河流相沉积。东营凹陷边部见到沙一段直接盖在沙三上地层之上,因此,沙三上、沙二段、沙一段之间存在剥蚀、超覆不整合面。沙二下为河流三角洲发育晚期形成的沼泽化还原环境;沙二上则属于干燥气候条件下的氧化浅湖至河流相红色碎屑岩相沉积。

## 3. 三级层序界面

三级层序界面在地震剖面上有:东营组底  $T_1$ ,沙三上底界  $T_4$ ,沙三中底界  $T_5$ ,沙三中底界  $T_6$ ,沙四上、下的界线  $T_7$ 。沙四上—沙一段可分为 5 个三级层序:沙四上、沙三下、沙三中、沙三上+沙二下、沙二上+沙一段。

界面上下各层序地层单元的内部反射结构各有特点。沙四上内部反射结构为亚平行反射、杂乱反射;沙三下的内部反射线结构为斜交前积反射、平行反射;沙三中为斜交前积反射;沙三上—沙二下的内部反射结构为亚平行反射、S 型斜交前积反射;沙二上—沙一段为平行、

亚平行反射。东营组为前积反射、亚平行反射。

通过综合分析盆地内发育的几个主要不整合面(如上第三系与下第三系之间(N/E)、第三系与中生界之间(E/Mz)的区域性不整合面;下第三系内部孔店组与沙四之间(E<sub>1-2</sub>/E<sub>2.5</sub>)、沙四与沙三之间(E<sub>2.5</sub>/E<sub>2.5</sub>)及沙二上与沙二下(E<sub>3.5</sub><sup>上</sup>/E<sub>2.5</sub><sup>下</sup>)之间的不整合面;以及一些大量存在的局部不整合及其与之相当的界面)、盆地沉积充填、构造演化史、古气候旋回和沉积体系的发育关系,笔者认为:盆地的构造演化期控制着构造层序及其界面的发育;构造幕和气候的二级旋回控制了层序组及其界面的发育;构造活动(断陷)和气候的三级旋回控制了层序及其界面的发育;物源供给速率和可容纳空间的关系决定了层序体系域的特征。据此通过识别不同级别的不整合面和基准面旋回而形成的层序界面,可实现该凹陷下第三系层序地层的划分,建立以三级层序为单元的全盆地可以对比的等时地层格架(图1-6)。

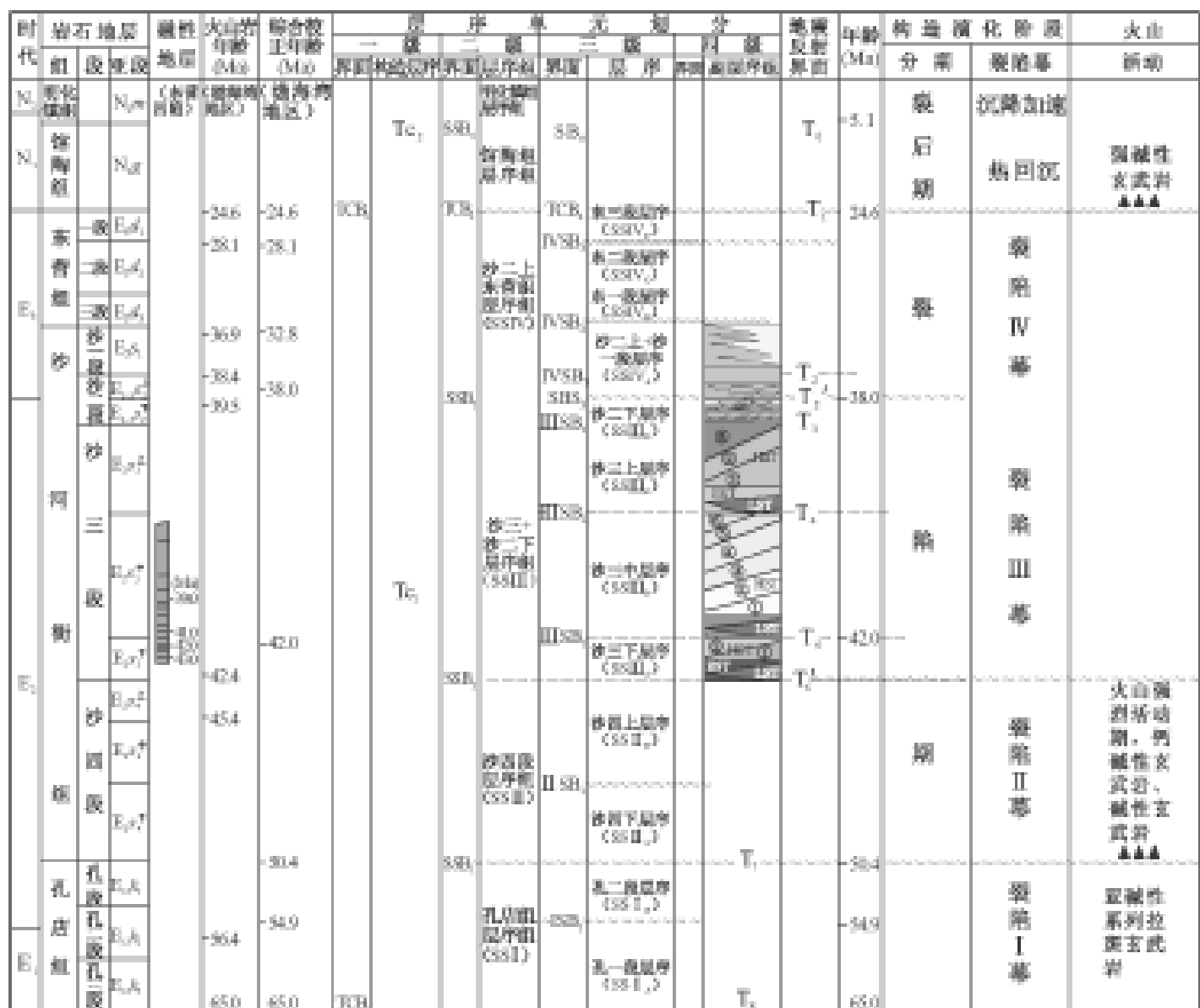


图 1-6 东营凹陷第三系层序地层综合柱状图

## 第四节 主要沉积体系及演化

受喜马拉雅运动影响,本区自第三纪以来,从干热的内陆型封闭盆地演变为湿热的开启型近海湖盆,当湖水退出后,又从山前倾斜平原过渡为开阔的近海平原。陆相沉积体系的各种沉积在本区都有发现。

晚第三纪以来,由于基底块断活动减弱,深洼陷多被充填,基底断棱亦遭夷平,湖水退去,演变成近海平原的河流冲积平原相沉积。

早第三纪沙四段沉积时期,本区进入盆地的快速充填阶段,由于气候干热,堆积了一套河流-湖泊相的泥质岩、砂质岩和盐膏层。沙四沉积后期,气候转为湿热,湖盆水体进一步加深,开始出现富含有机质的泥质岩沉积。

至沙三中下段沉积时期,本区演变为湿热的开启型湖盆-前三角洲环境,以大套暗色泥岩沉积为主,厚度大,分布广,富含有机质,是本区的主要生油岩系,而其中与暗色泥岩交替的各种浊积岩体是本区的主要储油岩体之一。沙三中下段沉积后期,湖盆水体变浅,逐渐演变为滨浅湖为主的沉积。

到沙二下沉积时期,本区充填速度达到最快,进入三角洲发育期,以砂泥互层沉积为特征,一直延续至沙二末(包括沙二下和沙二上沉积时期)。这一时期为东营三角洲形成—演化的重要时期,沙二上、下段地层也为中央隆起带的主力含油层系。

在沙二下底,三角洲在东北部开始形成,为三角洲前缘相,而中部及西部大部分地区为前三角洲相,到沙二下中部,三角洲向西推进,以至东部、中部大部分地区为三角洲前缘相,而仅在西部及南部少数地区为前三角洲相。在进入沙二上以前,三角洲已推进到西部。在沙二上的下部,区域南北两侧有分支河道,中间为漫滩。到了沙二<sup>5</sup>北边分支河道干涸,只有东南部、西南部有分支河道,全区其余大部分地区皆为漫滩沼泽;到了沙二<sup>4</sup>至沙二<sup>1</sup>,分支河道仅在东南有少部分,另有一支从东到西在中部穿过。南北两侧大部分地区发育漫滩沼泽。由此可见,中央隆起带在沙二晚期,河流不断改道,时进时退,使全区砂体厚度不断变化,分支也不断变化,从而形成了现今的地质面貌。

沙一段沉积时期,水体又有所加深,以砂泥互层过渡为以泥质沉积为主,夹少许碳酸盐岩,成为良好的区域盖层。

至东营组沉积时期,水体又变浅,逐渐演化为河流相砂泥互层沉积为主,在砂体等厚图上,可以清晰地看出河流的走向和砂体的展布情况(图 1-7)。

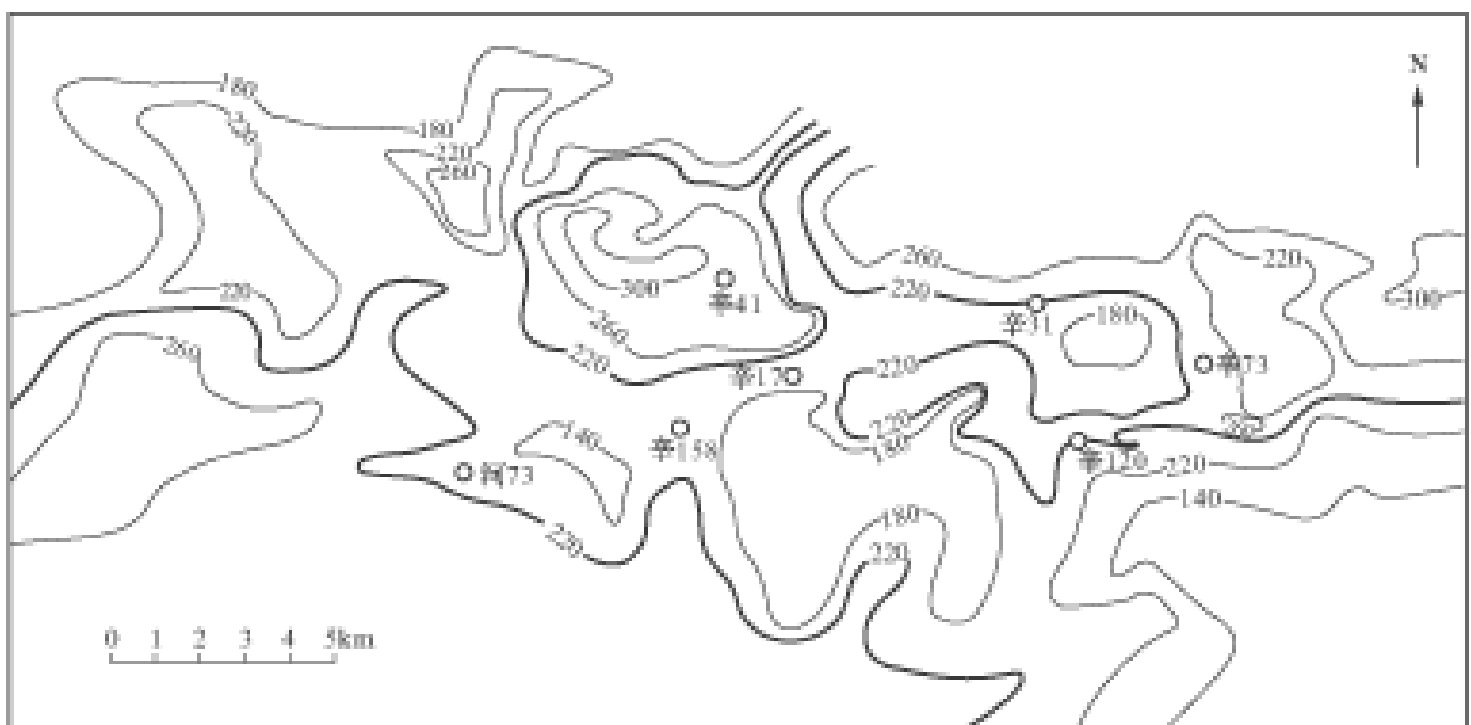


图 1-7 中央隆起带东营组砂体等厚图(单位:m)

总之,中央隆起带经历了三角洲-河流相的演化过程,通过对砂体厚度变化(图 1-8 ~ 图 1-10)及测井响应特征的对比可知,从宏观上看,东营三角洲是一个统一的整体,但从各井原生

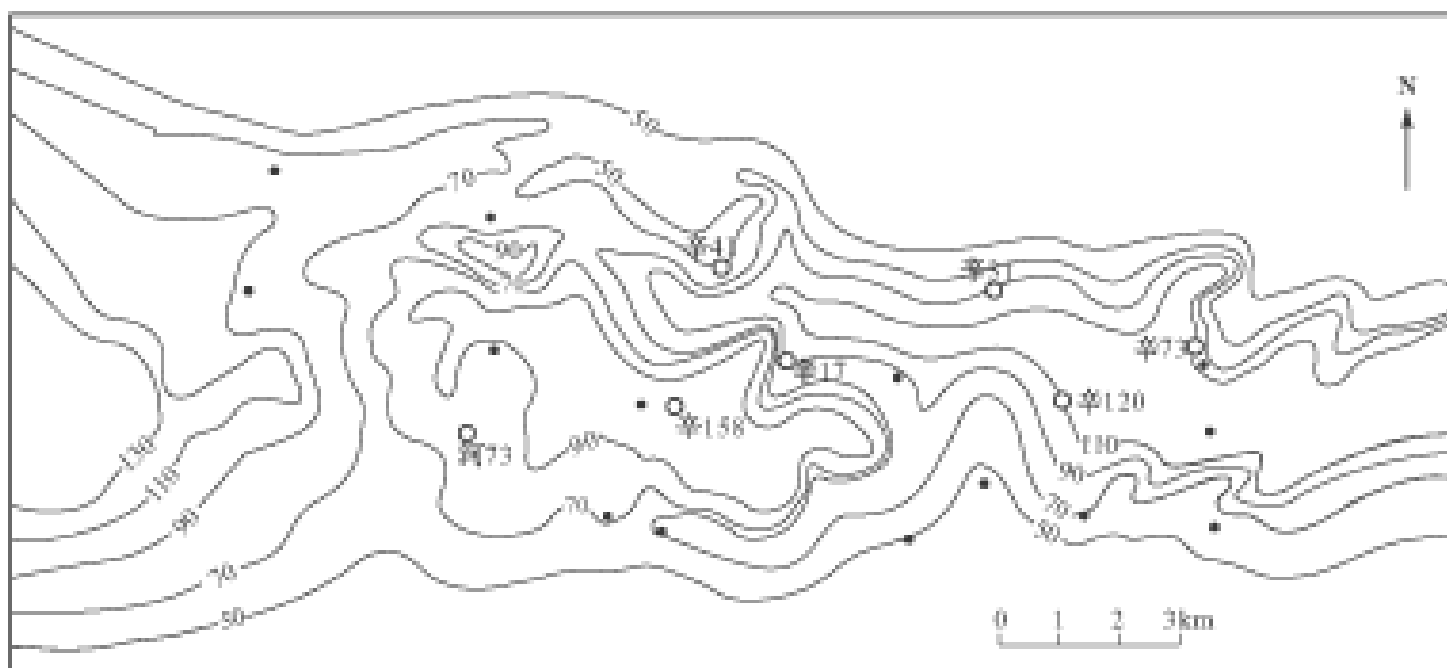


图 1-8 中央隆起带沙二上砂体等厚图(单位:m)

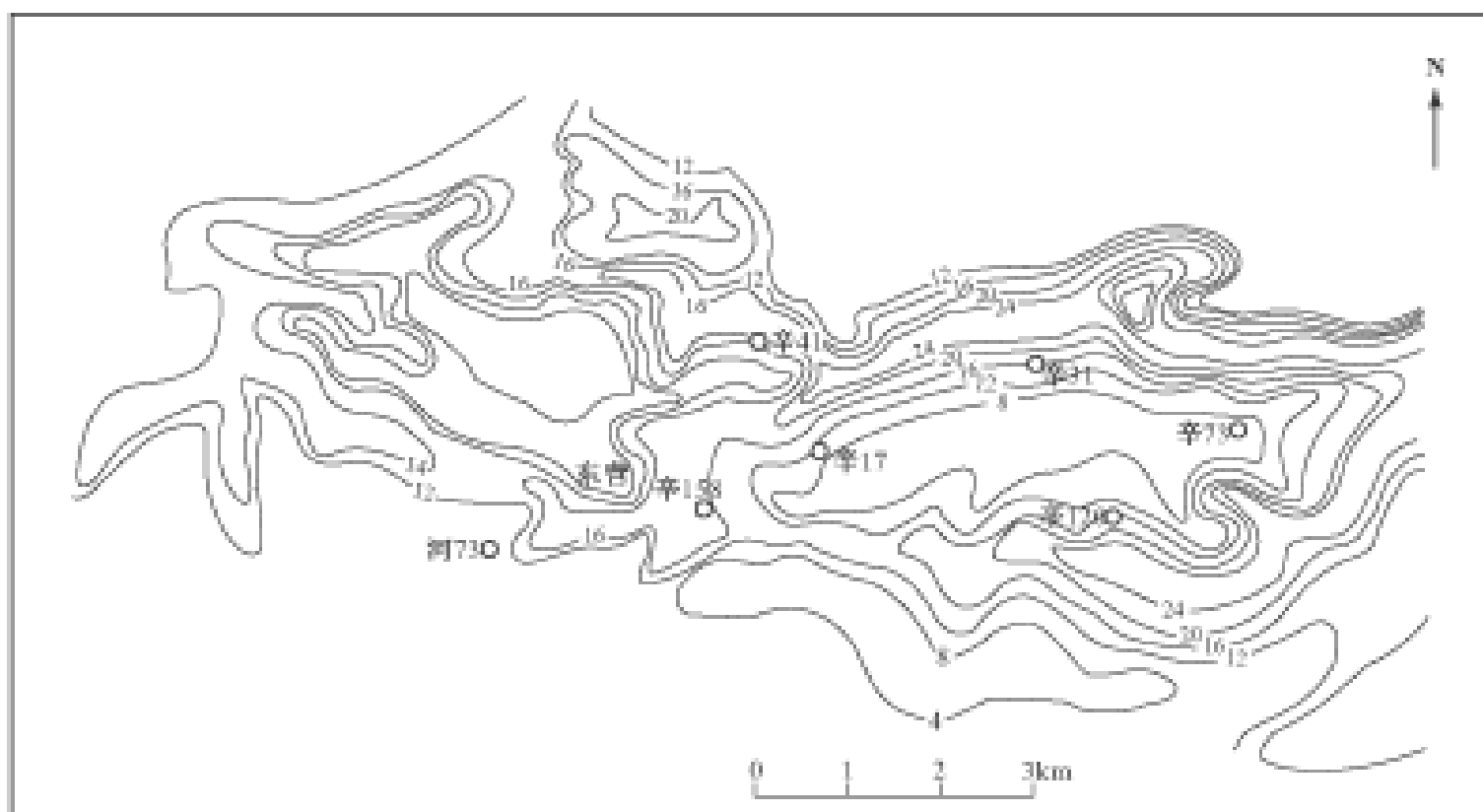


图 1-9 中央隆起带沙二下 1 砂体等厚图(单位:m)

构造及序列的差异中又可发现,它的不同部位又各不相同。因为物源各异,周缘凸起活动有持续、脉动之分,加之构造运动的不均衡性,反映在三角洲河口砂坝上也有永安、胜坨、东营和南坡 4 种不同类型。中央隆起带及其周缘沙二段是连续完整的沉积。在东营三角洲经历的三角洲-河流相演化的全过程中,各井的沙三—沙二都是这样的变化;岩性组合从大套暗色泥岩厚层块状砂岩为主 砂岩与红色泥岩互层;层理序列由水平 波状、槽状交错 韵律斜层理;化石从深水生物 浅水、沼泽生物 无化石带;自然电位曲线形态,粒度概率图反映从低能弱水动力 高能强水动力 单向水流。这些变化反映了沉积相序从前三角洲相(较深湖相) 三

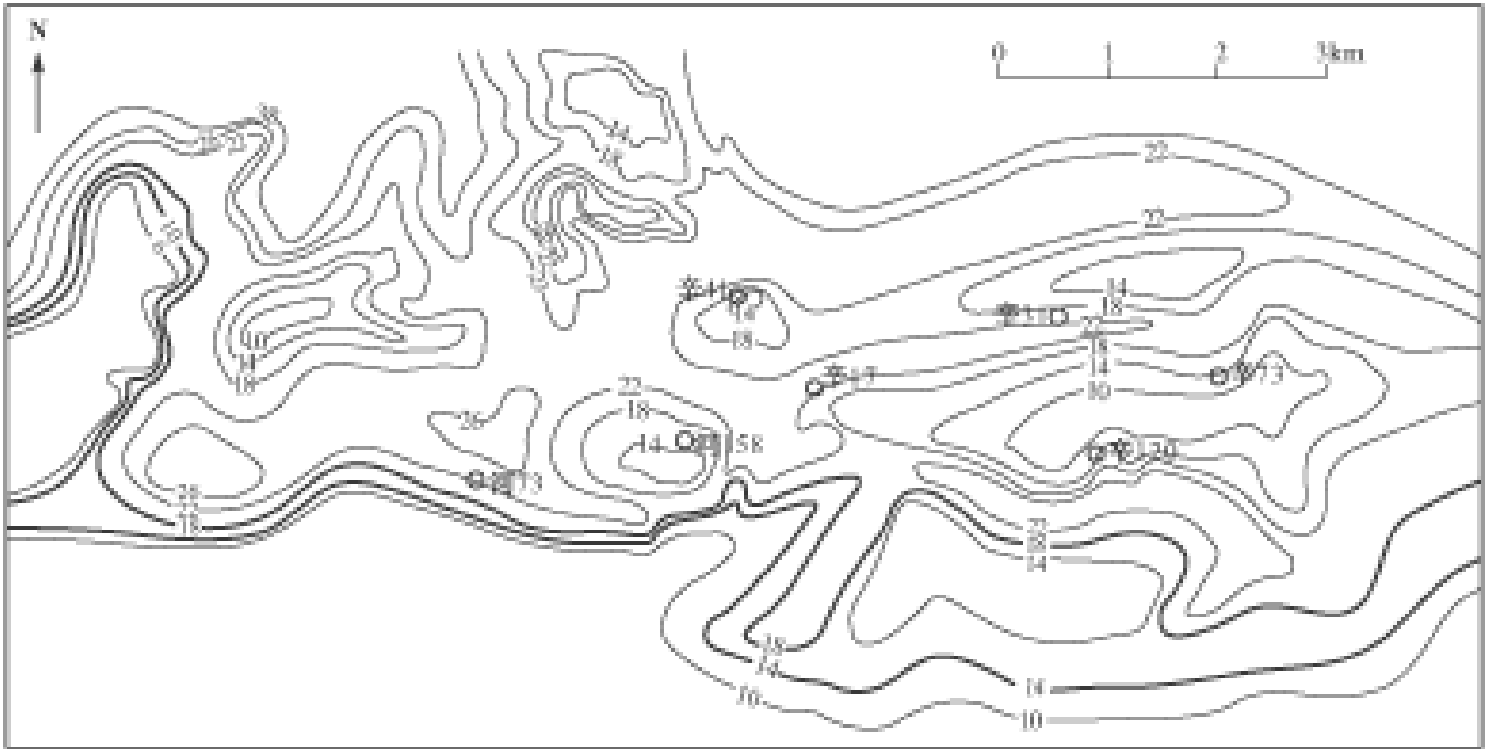


图 1-10 中央隆起带沙三上砂体等厚图(单位:m)

三角洲前缘相、三角洲平原相 河流相的变迁过程。这就是东营三角洲发生、成长到衰亡的完整过程。三角洲相开始时间南早北晚,成长过程南短北长,发育过程南好北差,造成这种不同变化的原因是它受凹陷结构与构造运动影响的结果。东营凹陷是在中生代断陷的基础上,到渐新世转化为北深南浅的箕状断坳盆地的。由于鲁西隆起的持续上升,凹陷内沉积中心不断北移,这就使得沉积相带相应的变迁。到沙二末期,全区水域又一次扩大,形成统一的湖泊,接受了滨湖-浅湖沉积。

综上所述,沙二期沉积东营三角洲是发生在水退背景下,以河流作用为主导因素而形成的,河流作用不断加强,显示了高建设三角洲的特点。东营凹陷东部沙三—沙二期,沉积从湖泊开始,经过发育完好的三角洲相,典型的河流相,最后又以沙一期湖相沉积为另一旋回的开始而告终,形成一个完整的旋回。

## 第二章 盆地沉降史分析及充填演化特征

### 第一节 沉降史分析研究方法

沉降史分析目前已成为盆地分析中的一种常规技术。盆地的沉降分析由两部分组成：一为地质历史分析(Geohistory analysis)(Van Hinte, 1978),它需要去压实、古水深和海(湖)平面变化三种校正,从而绘出总的沉降曲线;一为回剥技术(Backstripping)(Watts 和 Ryan, 1976),它把总沉降区分为构造驱动力所引起的和由沉积负载所引起的沉陷,给出构造沉降曲线。近年来,这种方法得到了广泛的使用(Steckler 等, 1978; Sclater 等, 1980; Bond 等, 1984; Guidish, 1985; 林畅松, 1995, 1996; 斯久强, 1993)。人们用它来调查盆地沉降的构造驱动机制,以研究盆地的形成和演化,以及用它来研究含油气盆地的热演化史,预测油气的生成窗口。沉降分析的结果也被大量地应用于盆地模拟中,从而为地层、热演化和油气生成聚集模拟提供了时空框架。因而,沉降史分析是盆地模拟的基础。在沉降史分析中,现有的大多数研究实例是从一维的柱状进行回剥的,EBM 盆地模拟系统是一个二维剖面回剥系统,可以反映盆地总体沉降特征,又可以对剖面上不同部位的沉降作出比较。沉积盆地的总沉降量主要与构造作用、沉积物压实、均衡作用、沉积基准面变化或古水深变化等因素有关。在裂谷或断陷盆地中,盆地形成的构造作用主要是拉张作用,由于岩石圈的拉薄而引起盆地的形成和沉降,而在拉张过程中软流圈上升引起一定的隆升,这两种因素的联合影响产生了盆地裂陷期的净沉降,随后热衰减使盆地进一步沉降。盆地内充填了沉积物或水会引起岩石圈的均衡调整下降。表层的沉积物具有较高的孔隙度,随着埋深加大而压实,可产生不可忽视的沉降量。湖水平面的变化使盆相对沉积基准面发生变化。因此,盆地的构造沉降(纯水载盆地沉降)可表述为:构造沉降 = 总沉降 - (沉积物和水负载沉降陷 + 沉积物压实沉降 + 湖水面的变化)。显然,为了求得构造沉降,必须对沉积物压实、负载均衡和古水深等进行校正。图 2-1 表示了盆地沉降史模拟的流程图。

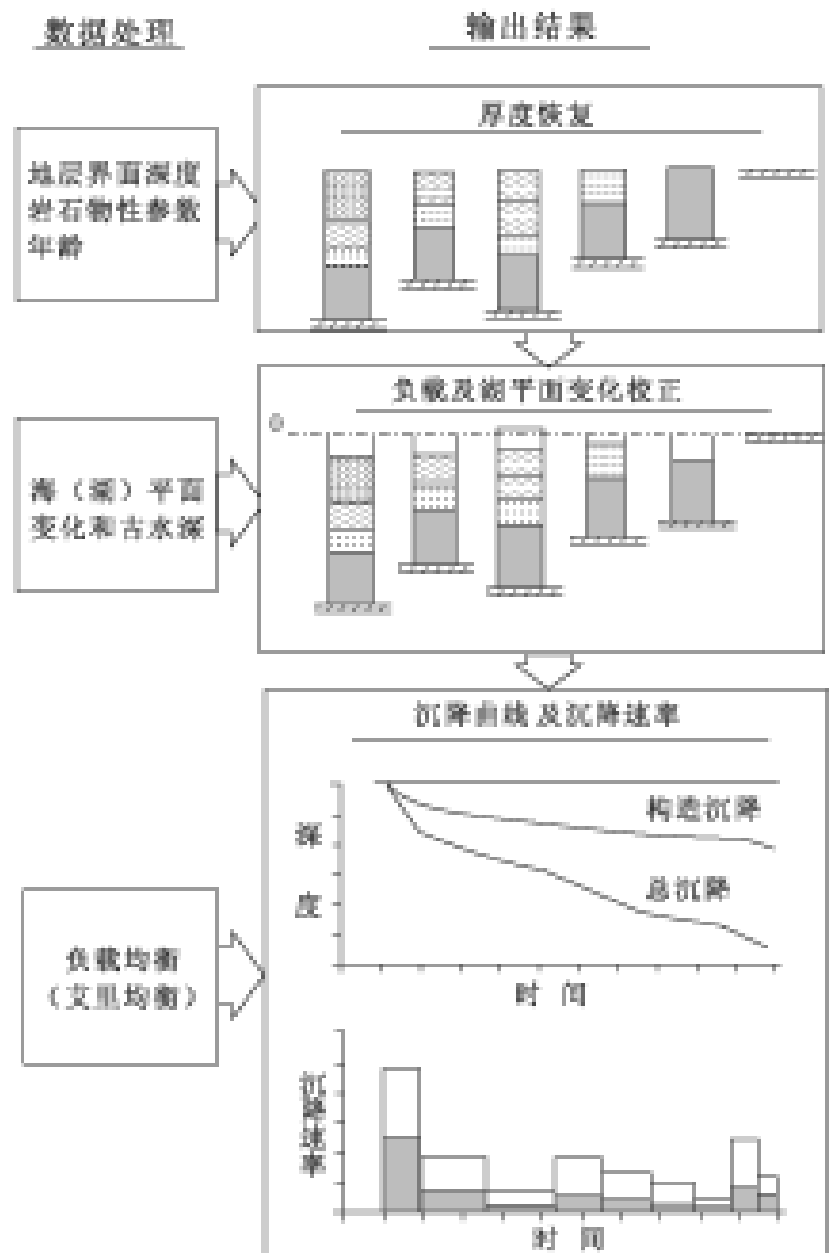


图 2-1 盆地沉降史模拟流程图

因此,盆地的构造沉降(纯水载盆地沉降)可表述为:构造沉降 = 总沉降 - (沉积物和水负载沉降陷 + 沉积物压实沉降 + 湖水面的变化)。显然,为了求得构造沉降,必须对沉积物压实、负载均衡和古水深等进行校正。图 2-1 表示了盆地沉降史模拟的流程图。

本次研究中,应用 EBM 模拟系统(林畅松等,1995,1996),定量和动态模拟了东营凹陷的拉伸沉降过程。确定了边缘断裂的活动速率和规律,确定了盆地拉伸率及其在区域上的变化,为盆地同沉积断裂与充填序列的关系和同沉积断裂对沉积体系控制作用的研究提供了基础。

表 2-1 是正常压实情况下单一岩性通常采用的压实系数( $C$ )和表面孔隙度( $\gamma$ )。混合岩性可按此数值按比例加权得出。

表 2-1 正常压实情况下单一岩性通常采用的压实系数( $C$ )和表面孔隙度( $\gamma$ )

岩 性	表面孔隙度( $\gamma$ )	压实系数( $C$ )
泥 岩	0.63	0.51
砂 岩	0.49	0.21
含泥砂岩	0.56	0.39
白 垩	0.70	0.71

(据 Sclater 等,1980)

沉积盆地水深较大时,必须作水深校正才能得出正确的构造沉降量。古水深的估计是通过沉积相分析、古生物组合等方法进行。根据地震剖面上大型前积层去压实校正后恢复的古斜坡形态,也可估算古水深。一般的取值如下:冲积-河流相古水深为“0”;滨浅湖为 0~10m;深湖为 10~100m 或更深。

主要通过 595.4 剖面、620 剖面和 572.3 剖面回剥分析进行全盆地沉降史演化的研究。计算过程中,以三级层序为单元进行了沉降史的恢复,层序界面年龄是根据区域上的资料对比确定。此外,为了研究北部陡坡带的盆地深陷区沉降中心的变化特征,还选择了一系列较密集剖面进行研究,并在此基础上编制了这个区段构造沉降速率、总沉降速率和拉伸指数平面图。

## 第二节 结果分析

应用 EBM 盆地模拟系统,在采集大量数据基础上详细分析了 620 主测线剖面和 595.4 主测线剖面的沉降史和构造史。

595.4 剖面穿越了北部滨南—利津洼陷和南部的博兴洼陷的东段。在其系列回剥剖面上(图 2-2,图 2-3)可以明显看出,Ek—Es 时期这两个洼陷相互独立发育,博兴洼陷

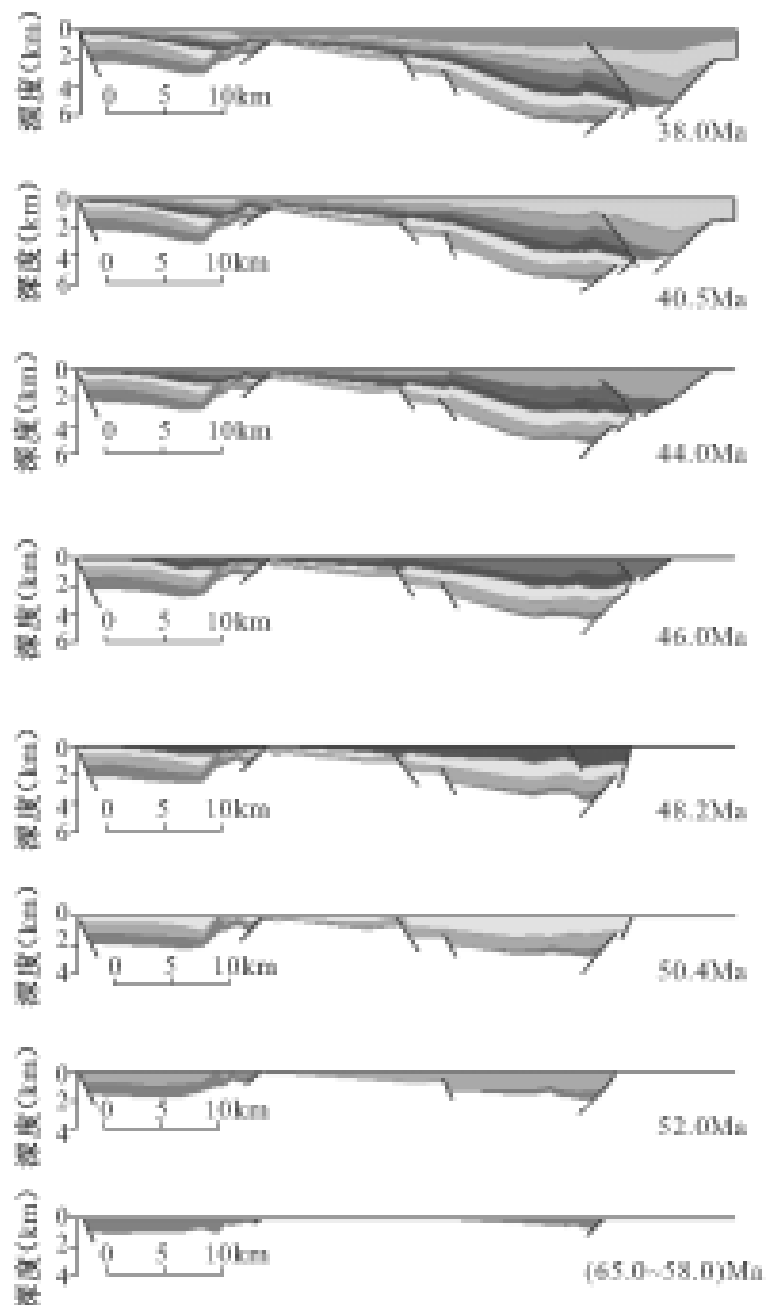


图 2-2 东营凹陷 595.4 剖面系列回剥剖面图(一)

为地堑式,滨南—利津洼陷是半地堑式,二者组合成复式地堑。从沙三时期开始,博兴洼陷随着陈南断裂上盘的旋转掀斜作用向上抬升,其南部的齐广断裂不再活动,石村断裂的活动强度也明显减弱,仅控制了较薄的楔状沉积体。因而, T<sub>6</sub> 时期的构造应力场转变表现是非常清楚的;23.6Ma 之后(裂后期)盆地整体下沉。

620 测线穿过了民丰洼陷、中央背斜隆起带和牛庄洼陷,在其回剥的系列图中(图 2-4)可以看到中央隆起带的发育是从沙四段沉积之后才明显表现出来的,在这个时期陈南断层的犁式形态趋向明显。

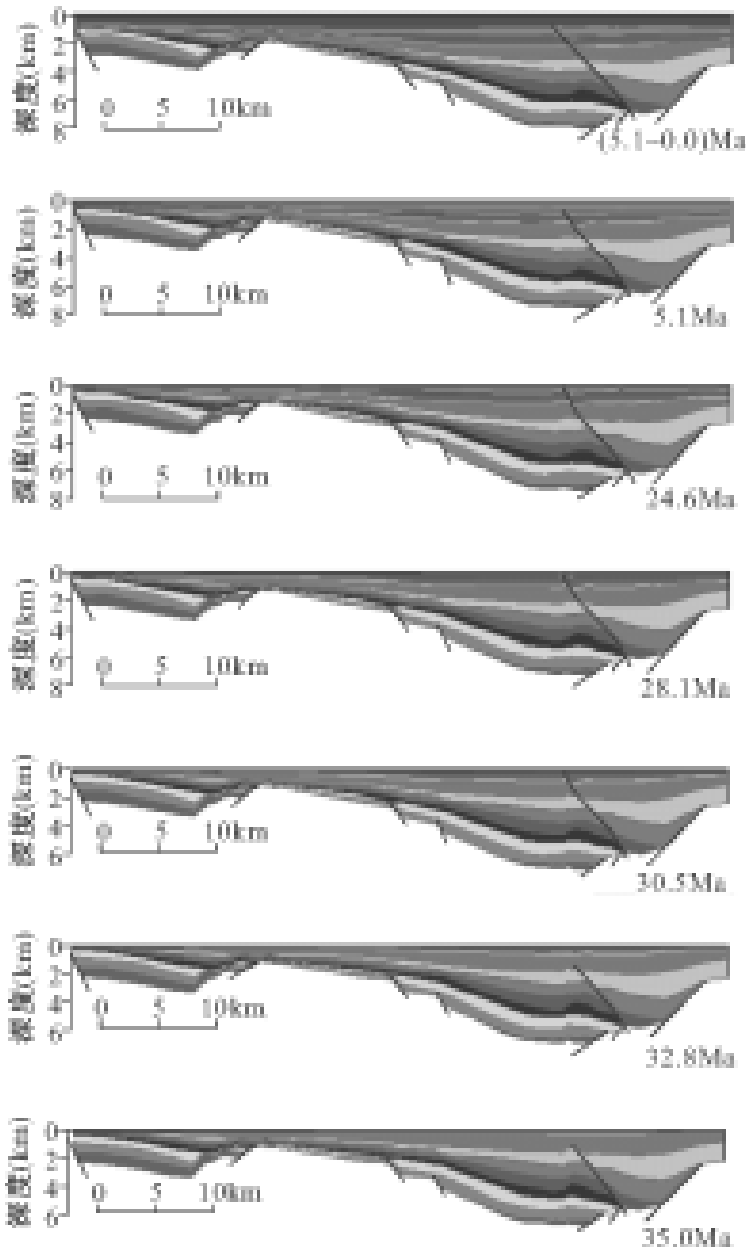


图 2-3 东营凹陷 595-4 剖面系列回剥剖面图(二)

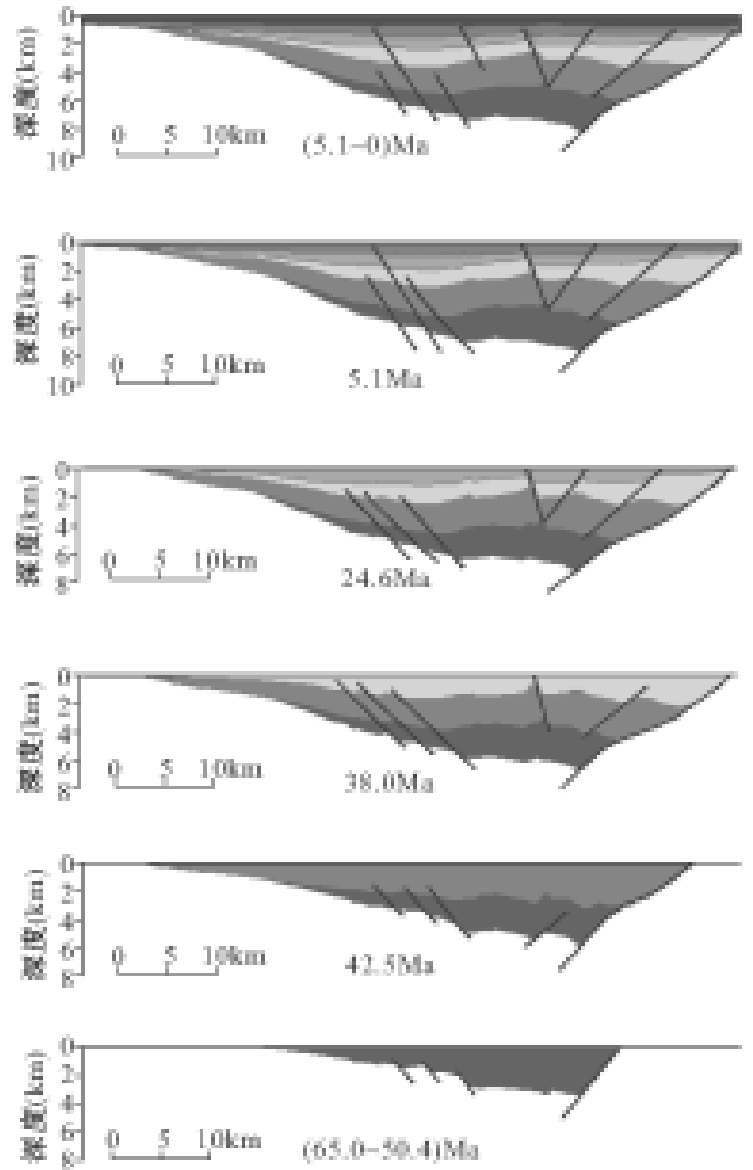


图 2-4 东营凹陷 620 剖面系列回剥剖面图

### 第三节 构造沉降史

断陷盆地的构造演化的阶段性具有明显的沉积响应。东营凹陷自早第三纪起,其北部的陈南断层的铲式伸展造成整个凹陷基底的内斜,形成了北断南超半地堑式盆地结构。

自第三系开始,东营凹陷经历了裂陷充填期到裂后充填期的重大演化历程,由 T<sub>1</sub> 界面将东营凹陷的沉积充填序列划分为上、下二套沉积组合,其下的下第三系地层(65~23.6Ma)

任建业,王华,郑建平等 东营凹陷第三系构造研究 武汉:中国地质大学沉积盆地及沉积矿产研究所 .1999

代表多幕裂隙充填期,上第三系地层(23.6~2Ma)代表凹陷的裂后充填期(图2-5)。

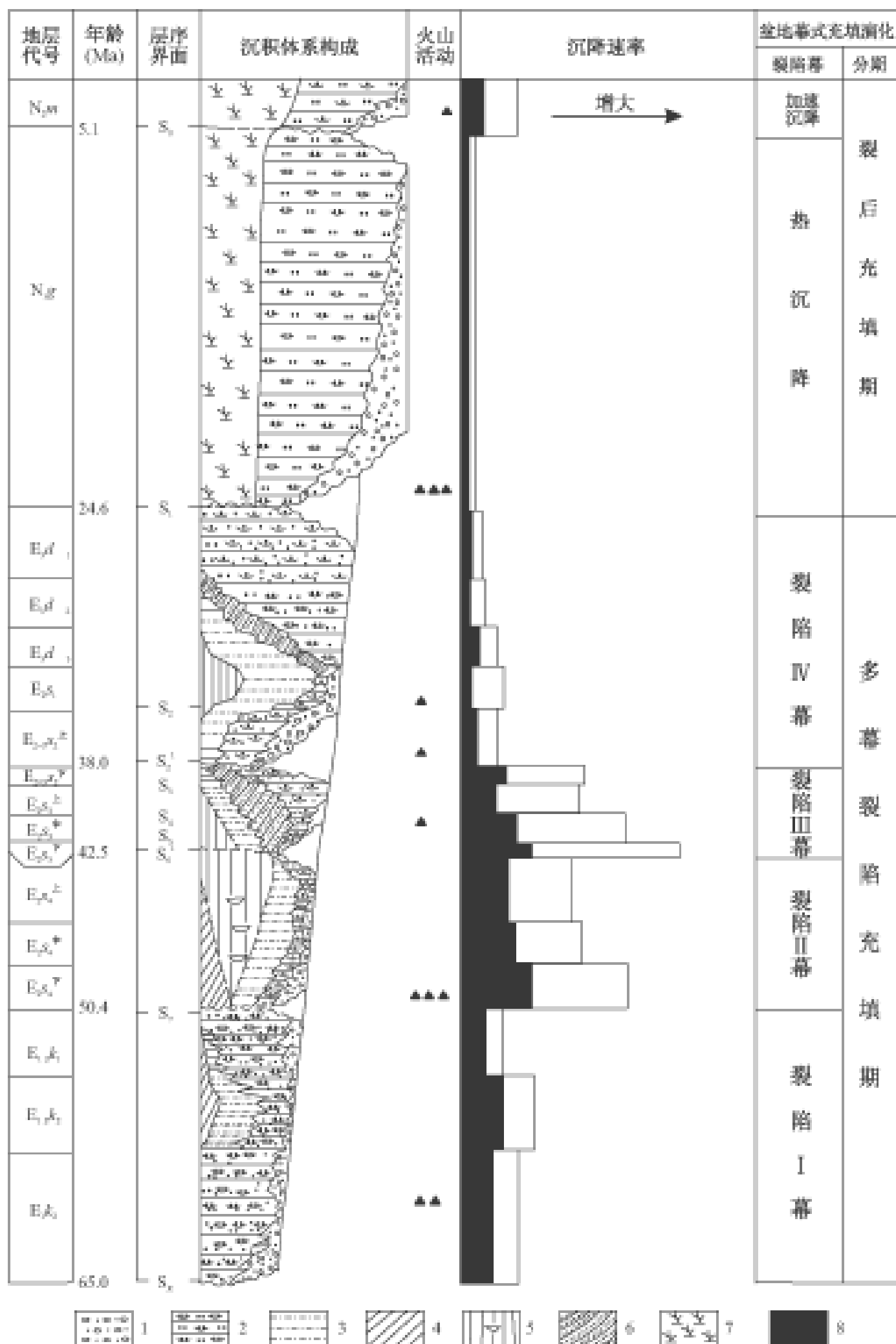


图2-5 东营凹陷构造演化、充填序列图  
(据任建业, 1999)

1. 冲积扇体系; 2. 河流体系; 3. 滨浅湖体系; 4. 盐湖体系; 5. 深湖及重力流;
6. 三角洲沉积; 7. 洪泛平原沉积; 8. 构造沉降速率

## 一、多幕裂隙充填期

东营凹陷从侏罗系到第三系经历了早、中侏罗世的挤压作用,晚侏罗—早白垩和老第三纪的裂隙作用以及晚第三纪的拗陷作用。因此,东营凹陷按其内发育的较大规模的不整合面、沉积充填的特征、火山岩发育特点及构造发育特征,具有多幕裂隙充填期,可进一步划分为四个裂隙幕:早期初始裂隙幕( $E_k$ 形成期)、晚期初始裂隙幕( $E_{s4}$ 形成期)、裂隙伸展幕( $E_{s3}$ 至 $E_{s2}$ 形成期)、裂隙收敛幕( $E_{s1}^+$ 至 $E_d$ 形成期)。

早期初始裂隙幕:即孔店组沉积期(65~50.4Ma; $E_k$ ): $E_k$ 沉积期;是东营凹陷发育的初始阶段,其沉积范围小,且有两个次级断陷区即博兴洼陷和东营北次级“断陷”,各自形成其沉积、沉降中心,地层厚度均上千米厚。空间上的沉积体系组合为:冲积扇及河流体系占优势。气候为湿热型,沉积物以红色为特征。两个次级断陷均未能形成较深的覆水区,尽管当时的总沉降速率偏高(100m/Ma)。构造沉降对总沉降量的贡献较大( $>1/2$ ),反映了凹陷处于周缘断层活动性强的背景下,凹陷区与周缘地区地形高差大,四周同时供屑,凹陷区形成了补偿式沉积。

$E_k$ 沉积时,齐广及石村断层活动性略有减弱,而北部陈南断层活动性继续增强,导致沉积面积进一步加大,但沉积中心的空间位置仍有继承性且有较固定的浅水汇聚,形成滨浅湖环境,堆积了以碳质、钙质泥岩、粉砂岩为主的细质沉积物,且颜色变暗(“黑”)。同时,由于气候变得更为干热,蒸发量加大,在供水相对不足的情况下形成盐湖沉积。冲积扇体系萎缩、后退,扇前至滨浅湖区发育有以细碎屑沉积为特征的河流体系。

$E_k$ 沉积时,盐湖及滨浅湖均快速萎缩,甚至不再发育;河流体系面积增大,占据了凹陷区的大部分地区,沉积物粒度变粗;边缘断层凸起斜坡处冲积体系进一步发育,扇体增多、变大。整体上 $E_k$ 沉积物以“红”色为特征。

纵观孔店组沉积期,构造沉降量占总沉降量比重大,周缘断层及凹陷内部断层活动性均强,地形高差大,供屑快,属补偿式沉积且沉积厚度大。从 $E_{k3}$ — $E_{k2}$ — $E_{k1}$ ,东营凹陷的构造格架完成了由两个相互分离的次级“地堑”向一个完整的北断(陡)南缓的半地堑的转化,但沉积中心具有继承性特点,冲积扇体系完成了从 $E_{k3}$ 的较发育— $E_{k2}$ 的不够发育— $E_{k1}$ 的再次较发育;而河流体系则从 $E_{k3}$ 以粗碎屑为主的短程河流体系— $E_{k2}$ 以细碎屑为主的远程河流体系、 $E_{k1}$ 的以粗碎屑为主的河流体系的再次出现为特征;滨浅湖环境从无( $E_{k3}$ )到有( $E_{k2}$ )又到消亡( $E_{k1}$ );沉积面积由小( $E_{k3}$ )—大( $E_{k2}$ )—小( $E_{k1}$ 末期)以及从 $E_{k2}$ — $E_{k1}$ 以膏盐的形成为标志的水退现象都反映了一个完整的由下向上,粗(“红”)—细(“黑”)—粗(“红”)的沉积旋回,且对应于裂隙—幕构造活动性是由最初的加强、减弱到最后的加强过程。

晚期初始裂隙幕,即沙四段沉积期(50.3~42.5Ma; $E_{s4}$ ):发育于 $T_R$ 不整合界面之上,其沉积面积由下向上迅速增大,水体加深。平面上,从凹陷边缘向中心,沉积体系组合为:冲积扇体系(不够发育)—河流体系—滨浅湖(及盐湖)—深湖沉积体系。纵向上从 $E_{s4}^-$ 到 $E_{s4}^+$ 盐湖不断萎缩直至消失;半深—深湖体系发育;冲积扇体系萎缩、后退,发育于陈南断层斜坡上;河流体系亦呈萎缩趋势,形成了欠补偿式沉积格局。同时,沉积物粒度由下向上变细(红色砂砾岩—砂泥互层—白云岩、灰岩、泥岩及油页岩)。直至 $E_{s4}^+$ 顶部在盆缘略有变粗,扇体有增强发育之趋势,构成了一个不完整的沉积旋回,其顶界为 $T_6$ 层序界面。

裂隙伸展幕,即沙三段及沙二段下部沉积期(42.5~38Ma; $E_{s3}^-$ 至 $E_{s3}^+$ ):发育于 $T_6$ 界面形成之后,平面上,在凹陷边缘发育有数量少、规模小的冲积扇体,而河流—三角洲沉积体系异

常发育,从凹陷区的边缘(东部、西南部)向中心(半深湖-深湖)推进。纵向上, $E_{s^{\downarrow}}$  沉积时缺少粗质沉积,形成的深湖区自  $E_{s^{\uparrow}}$  起很快被入湖的大型三角洲朵叶复合体及其后的河流粗碎屑沉积砂体所充填,它们分别从凹陷 NEE 方向向 SWW 方向推进,(东营凹陷)或从 SW 方向向 NE 方向推进(博兴洼陷),导致水体被充填变浅。 $E_{s^{\uparrow}}$  末期再次增强。 $E_{s^{\uparrow}}$  时,全凹陷已基本被河流-三角洲体系所占据,陈南断层处有零星小扇体存在, $E_{s^{\downarrow}}$  时在全凹陷区河流体系进一步发育,沉积物进一步变粗。垂向上,由  $E_{s^{\downarrow}}$  起至  $E_{s^{\downarrow}}$ ,构成一个由细到粗的沉积组合。凹陷北缘已不再是主要供屑区,表明了陈南断层下盘隆起变慢,供屑区转至东部和西南部,表明此时的陈南断层活动性已急剧减弱,周缘地形已逐渐平缓,盆地构造活动性由最初的增强(快速沉降)到趋于平稳。

裂陷收敛幕,即沙二上及东营组沉积期(38~23.6Ma; $E_{s^{\uparrow}}$  至  $E_{d_1}$ ): $E_{s^{\uparrow}}$  地层是继局部性抬升后再次沉降的产物。平面上,从边缘到中心,发育有冲积扇体系 河流体系 滨浅湖体系;沉积厚度小,面积局限,物源供屑趋于稳定,且量少,表明了凹陷四周地势已变得平缓,东西向河流平衡剖面已经建立。垂向上,尽管随着水体范围的扩大,在  $E_{s^{\downarrow}}$  沉积期出现了浅-深湖相欠补偿式沉积,但很快被河流-三角洲体系所取代,至  $E_{d_1}$  末期,滨浅湖相已不复存在,凹陷已大面积冲积河流化,到东营组沉积末期,沉积面积快速变小,凹陷区大规模抬升,一级层序界面  $T_1$  发育。总体上,由下向上,构成了粗 细 粗的沉积旋回;沉积面积由小 大 小;覆水深度由浅 深 浅;冲积扇体系仅在早期局部发育而河流体系则由不发育 发育 极发育。这些均表明了该幕的构造活动性与前 3 幕相比均较弱,体现了凹陷此时伸展量小、沉降慢的特点。

综上所述,从第 幕到第 幕: 3 个二级沉积旋回构成 1 个一级沉积旋回,对应于凹陷的初始裂陷 裂陷加强 裂陷强度下降直至终止的过程。换言之,控制凹陷沉积格架的边缘主干断裂的活动强度由强 平稳 变慢直至停止活动的过程。这一变化总趋势与利用主测线剖面,采用回剥技术进行了二维沉降史分析所得出的结果具有一致性。 冲积扇体系(包括扇三角洲体系)异常发育期常对应于凹陷的构造活动加强期;而河流-三角洲发育期又常表明了其构造活动性的趋于稳定或减弱;而冲积平原体系在全凹陷的广泛发育则预示着构造活动性已大幅度变弱。 沉积体系的总体展布样式及其界限的延伸方向与凹陷的几何形态,尤其是与主干边缘断层的展布具有成因上的联系,体现了沉积充填对凹陷的构造活动性的响应。

## 二、裂后充填期

由于受区域盆地构造动力学条件的作用,本区构造应力场由右旋张扭变为右旋压扭,同时地壳深部热地幔柱也开始了热回沉。盆地总体上表现为几乎无断裂活动而是与整个渤海湾盆地一起整体下沉。

热沉降期(对应于层序组 V,即馆陶组沉积期( $N_g$ ):23.6~4.1Ma):平面上,沉积面积达到前所未有的规模。冲积扇体系局限于凹陷南部的鲁西隆起带,而北部的陈南断层沿线已不再有扇体发育。而河流体系大面积发育,尤其是以发育洪泛平原为特征。主要沉积相带及界线已变成 NS 向展布,而与裂陷充填期的展布样式全然不同;垂向上,沉积体系没有发生大的变化,由地层厚度(最大为 500m)及其发育时间段(19.4Ma)可见,该幕的沉积充填速率很低( $< 25m/Ma$ ),体现了在均一化的沉积体系背景下补偿式缓慢沉积的特点;这与采用回剥法得出的凹陷的构造沉降速率小相吻合。

加速降期(对应于层序组 ,即明化镇组沉积期( $N_m$ ):4.1~2Ma):表现为近海冲积平原

背景下的河流体系沉积,洪泛平原极发育。地层厚度达 900m,全区较稳定。整体上,体现了相对快速沉降背景下的补偿式沉积格局。

裂后充填期以其简单的沉积体系构成,补偿式沉积和大面积发育河流体系为特点,沉积体系展布已不再受主干断裂的活动性的控制,地层厚度在全区比较稳定,表明东营凹陷此时已统一于整个渤海湾盆地之中,进入裂后热沉降阶段,其构造活动性相对较弱,而且均一化(图 2-5)。

### 第三章 中央隆起带构造特征

东营凹陷中央隆起带是一个由一系列不同层系、不同类型、不同成因的构造组成的地质条件十分复杂的复式断裂带。其北、西、南分别面临民丰洼陷、利津洼陷和牛庄—六户洼陷；西北、东北、东南、西南分别是胜坨油田、永安镇油田、广利油田、现河庄油田和郝家油田(图 3-1)。该油田东西狭长,为 28km,南北宽 6.7km,勘探面积约 217km<sup>2</sup>。本区虽然是多年勘探开发的老区,但以往的构造研究是用邮票式的三维进行的,缺乏整体的构造认识,如今中央隆起带作了三维连片处理,对构造的进行完整和精细的评价。运用东营连片三维地震资料对中央隆起带各段的地层构造进行了精细的研究,编制了精细的全区构造图。

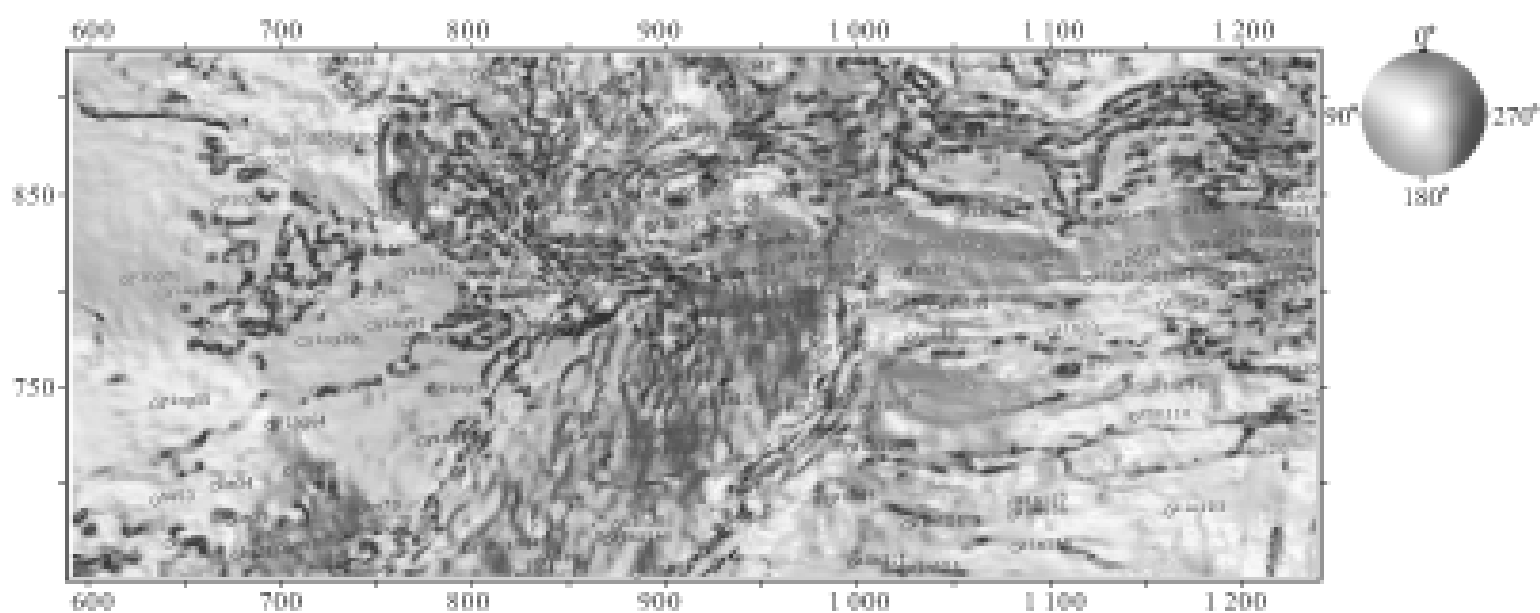


图 3-1 东营凹陷中央隆起带相干分析图

为了使构造更加可靠,尽可能地把小断层解释出来,还运用了相干分析技术,该技术的特殊之处在于对不连续地震反射轴的分析(图 3-1),用相干技术进行断层解释和组合,避免了解释结果的随意性和补充了因解释人员经验所导致的结果不合理。利用地震资料的相干特性,研究断层的存在及进行断层组合分析,有的小断层在地震同相轴上落差很小,其断层特征不易识别,但在相干分析图上却会表现出一定的特征,并在平面上出现一定的可识别分布范围。当相干值出现异常时,可以较可靠地判断出断层的存在。运用相干分析方法可以进行断层的合理组合。在地震资料解释的基础上,我们同时利用钻井资料对构造形态及断层进行校正,校正了该区的断层位置及断距大小。油田基本构造形态为:西部为东营穹窿背斜,东部为辛镇长轴背斜,中间以鞍部(过渡带)相连,即由一个鞍部连接起来的两个背斜构造。

断裂是控制中央背斜带构造形态及其演化的主导因素。构造体系主要由断裂系统所决定。搞清断裂系统,对认识构造及构造对油气分布的控制作用,具有十分重要的意义。

## 第一节 中央隆起带断裂特征

### 1. 断层的分布东多西少

中央背斜带上有大小不等的 10 个次级构造, 均被断层复杂化(图 3-2), 它们之间通过鞍部、斜坡和小的向斜相连。

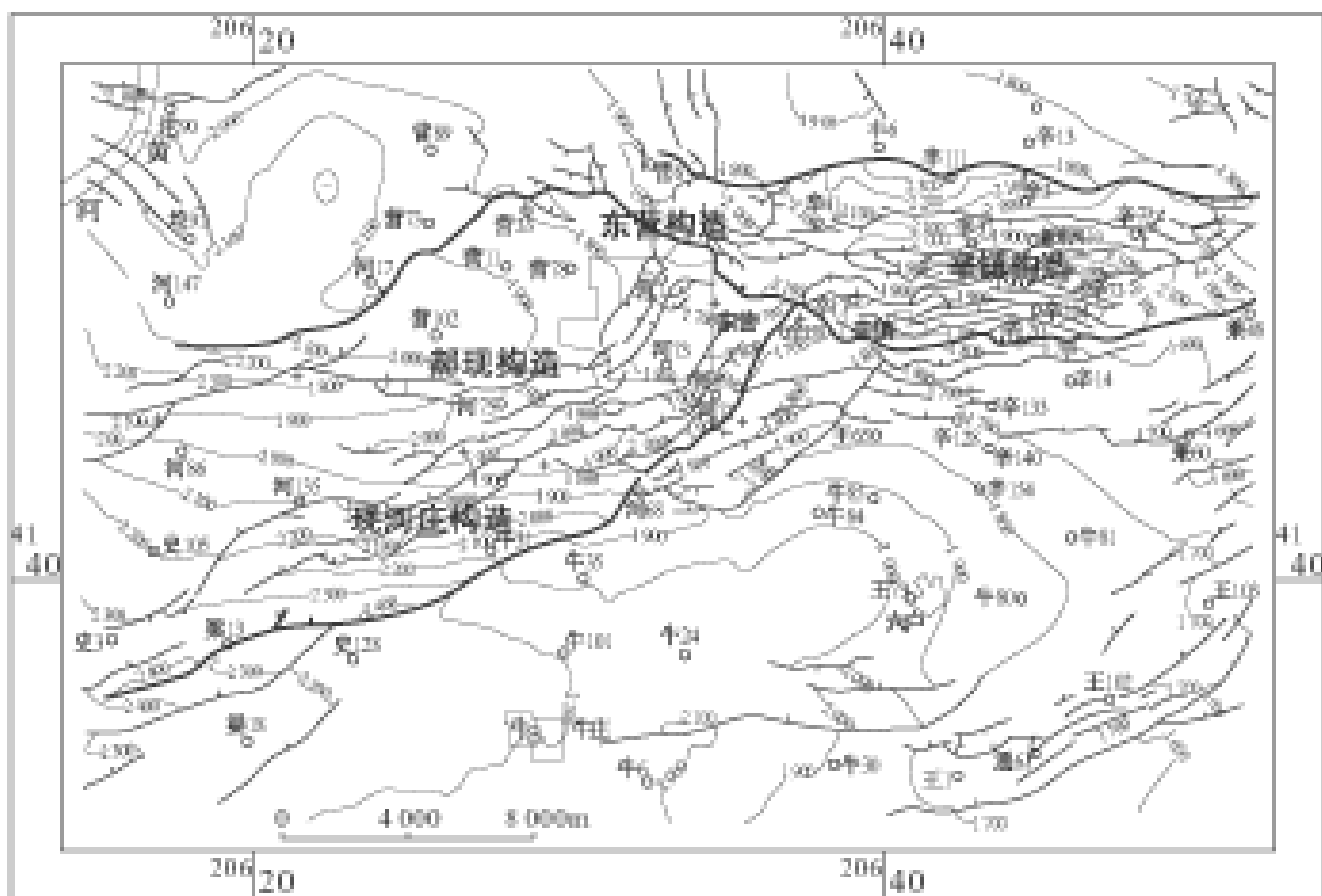


图 3-2 东营凹陷中央隆起带  $T_2$  构造图(等高线单位:m)

背斜带东部的次级构造由东向西依次为新立村背斜、辛镇背斜、辛 86 背斜、东营穹隆背斜、河 50 背斜、营 87 背斜。该带西部的次级构造由东营构造向西依次为河 68 鼻状构造、现河庄鼻状构造、郝家鼻状构造、史南鼻状构造。这些构造由东向西断层减少, 构造形态也变得相对简单(表 3-1), 如东部的辛镇背斜每平方千米有断层 3 条, 断块面积平均仅  $0.4\text{km}^2$ 。向西各构造的断层数逐渐减少, 断块面积增大, 至史南鼻状构造每平方千米有断层 0.6 条, 断块平均面积为  $3.0\text{km}^2$ 。

### 2. 总体上断层多而密集

中央背斜带是一个断层非常发育的构造断裂带, 据 1990 年不完全统计, 全带有大小断层 399 条(均为正断层), 划分为 301 个断块, 断块面积平均只有  $1.8\text{km}^2$ 。根据钻井资料, 至 1992 年底共钻井 1 629 口, 除营 11 断块区及边缘井、浅井外, 在中央背斜带上的 1 370 口井中, 共有 1 266 口井钻遇断层, 钻遇率高达 92.34%, 平均每口井钻遇 2.1 个断点, 最多的辛 15 井钻遇断点 7 个(表 3-2)。

表 3-1 中央背斜带次级构造要素统计表

序号	构造名称	长 轴		短 轴		闭合高度 (m)	闭合面积 (km <sup>2</sup> )	断层数
		方向	长度	方向	长度			
1	新立村背斜	EW	3	SN	1	180	3	9
2	辛镇背斜	EW	9	SN	7	300	60	90
3	辛 68 背斜	EW	3	SN	3	150	8	18
4	东营背斜	近 EW	12	近 SN	8	500	90	91
5	河 50 背斜	EW	3	SN	2	200	6	6
6	营 87 背斜	NE	4	SW	3	60	10	9
7	河 68 鼻状构造	NE	5	SW	2	150	10	12
8	现河庄鼻状构造	NEE	15	SWW	5	300	70	50
9	郝家鼻状构造	NE	11	SW	5	400	50	11
10	史南鼻状构造	NE	9	SW	3	180	20	12

表 3-2 中央隆起带钻遇断层统计表

钻遇断层个数	1	2	3	4	5	6	7
钻遇断层井数	530	389	226	90	20	2	1
占总井数百分比(%)	38.7	29	15.5	5.6	1.5	0.2	0.1

### 3. 大断层少,小断层多

按照济阳坳陷断层分级标准,中央背斜带共有二级断层 5 条,为背斜带的边界断层;三级断层 48 条,为分割断块区之间的断层;四级断层 346 条,对构造和油田的复杂化起了重要作用。其中中央隆起带有二级断层 4 条、三级断层 34 条、四级断层 204 条。各级断层对构造的形成及油气的控制作用也大不一样(表 3-3)。

表 3-3 中央隆起带断层主要要素表

断层级别	断层数	走向	倾向	倾角(°)	落差(m)	断层延伸长度(km)	主要作用
二级	4	EW 向、近 EW 向	南倾 北倾	32~60	150~660	4~18.2	控制二级构造带构造格架和沉积,对油气富集有明显作用
三级	34	近 EW、NE 向为主	北倾、南倾为主,少数北东、北西倾	44~60	80~150	0.4~12.9	控制断层区的油气富集,对沉积也有影响,是划分断块区的依据
四级	204	走向不一	倾向不一	40~60	30~80	0.2~3.8	控制含油小断块的油气富集程度,使油水关系复杂化

## 第二节 中央隆起带构造分区及其特征

在东营东部洼陷深陷区内的东辛、现河庄等油田一线,是东营凹陷中央背斜隆起带的发育部位。由于该构造带在东部洼陷沉降中心的升起,逐渐把东营东部洼陷分隔成几个次级小洼陷,即南部的牛庄洼陷、西部的利津洼陷和北部的民丰洼陷。位于凹陷之中的中央隆起带东西长 50km,南北宽 8~14km,东端主要由被营 8、辛 111 断层两条东西向断层破坏的辛镇背斜组成。西端则是由北东向延伸、向南凸起的河 68 断层、梁 11 断层、河 125 断层三条弧形断裂组成,平面上呈北东收敛、南西撒开的帚状展布,两者在东营地区汇合,导致下部沙四段中的膏盐层上拱,形成盐丘构造,东营构造顶部放射状和环状断裂发育,故以小断块圈闭为主。因此中央隆起带平面可分为多个次级体系(图 3-2),东段为辛镇构造带和新立村构造;西段又分为两支,南支为梁家楼—现河构造带,北支为东营—郝家构造带。

### 一、辛镇构造带和新立村构造带特征

辛镇构造带是目前中央隆起带隆起最高的部位,走向近于东西,构造范围约 50km<sup>2</sup>。可以辛 2 断层与东营—郝家构造分开。辛镇构造最显著的特点是发育了一条落差达 1 000m 的营 8 断层。该断层之北只有深层的明显隆起,到沙三上以上层位的地层均向北抬起而使圈闭几乎消失。营 8 断层呈坐椅状,上部倾角 60°~66°,在 E<sub>8</sub><sup>下</sup> 层段变缓为 40°左右,至 E<sub>8</sub> 转平至 20°~15°,并逐渐顺层消失(图 3-3)。营 8 断层控制了一系列密集发育的总体呈“包心菜”样式的小型断裂体系。这个构造带是盆地内各正向构造带中,包含断裂分布数量最多的一个区

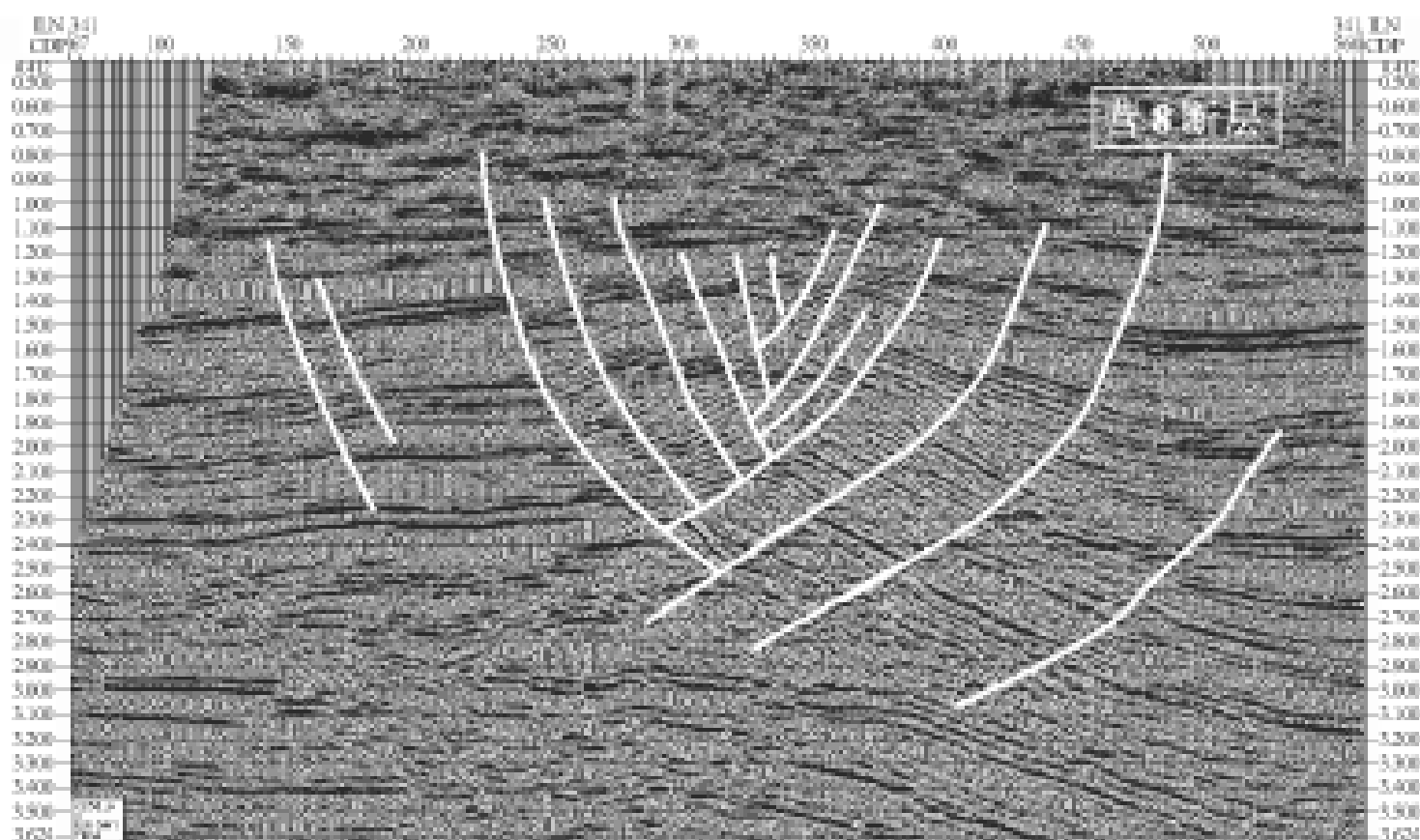


图 3-3 辛镇构造剖面特征

带,大约有 300 条断层,其中十多条断层的落差超过 300m。这些断层向下终止在主同向断层之上,向上消失。两翼的断块不对称,北陡南缓,北翼倾角 13°~17°,南翼倾角 3°~6°。北翼的

辛 15、辛 1、辛 23 为辛镇构造的主要含油断块。总体上看,辛镇长轴背斜是被两条二级断层切割、近东西向长条状大的地堑,地堑内又被 7 条东西向三级断层切割成 7 个子地堑,背斜轴部下陷最深,地震剖面上形状似莲花瓣(图 3-3)。形成了断层遮挡呈条带状的反向屋脊断块,其内部构造简单,断层很少。

## 二、东营构造特征

东营构造和辛镇构造同处一个地堑带内,北部主断裂为一条。但中间为南北向横断层所截,构造形态也有明显差异。

东营构造位于中央背斜带中部,呈穹隆形,半径 2.5km,隆起幅度达 200m( $T_2$ )(图 3-4),翼部倾角  $5^\circ \sim 8^\circ$ ;顶部断裂平面上呈放射状地堑系。东营构造处在营 11、牛庄、民丰三个洼陷的邻接处,也是北西、北东和近东西向三组断裂的交汇点。

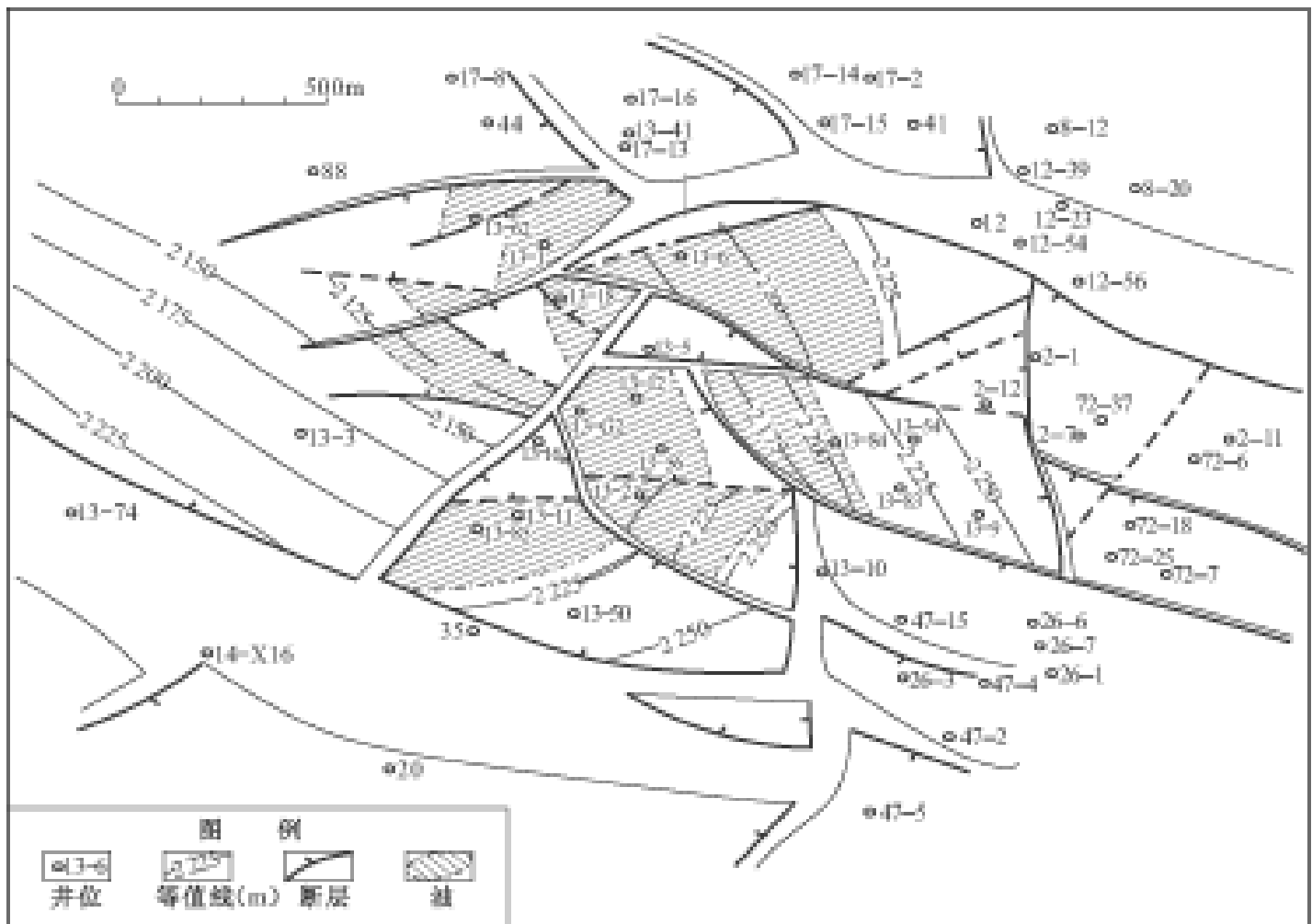


图 3-4 东营构造放射状—环状断裂体系分布图

东营构造南北两翼分别有两条 NWW—EW 向地堑式断层切过。南翼的一号断层落差 250m,水平断距最大达 450m( $T_2$ ),北翼四号断层分别为 210m 和 320m,落差上大下小,至沙一段以下落差增加不明显。断面上陡下缓,由  $60^\circ$  向下变缓至  $30^\circ$ 。构造顶薄侧厚,地堑内断层为同生断层,生长指数为 1.2~1.5。以东二、东三段时期最强烈。地堑内底部可能缺失沙四段顶部灰岩,沙三段直接盖在塑性层之上。

除近东西向两条主断层之外还发育了一些小断层。按走向大体上可以分两组,一组与主断层平行,一组与主断层垂直,从而将东营构造切割成若干小断块。主断层在沙一段沉积前即开始发育,其他小断层则主要在馆陶组沉积前最发育。尽管东营构造与辛镇构造比邻,但二者具有不同的成因,因而本文建议不宜再使用“东辛”构造(油田)。

### 三、梁家楼-现河庄断裂系统特征

该断裂系统由复杂褶皱断裂系组成。在平面上这套断裂呈左阶斜列式排列,在剖面上(图 3-5)呈上陡下缓的铲形,一系列次级断裂向下延伸到主断裂之上,总体构成一帚状或马尾状断裂组合,收敛端断层数量少,落差大,最大可达 500m;撒开端断层多,落差小以至消失。自北而南由河 4、河 31、河 125 等三个断层组成,上述断层将该区分割成河 50、河 54、河 52 等 5 个断块区,高点在河 50 垒块,是油气最富集的断块区。该构造体系在沙三期出现雏形,沙二期基本定型,东营期强烈活动,是新华夏系派生的旋扭应力场的产物,属华北沉降区的五级旋扭构造体系。与这套断裂相伴生,发育一套呈斜列形式展布的滚动背斜,这套背斜呈短轴状,其核部由于盐膏层塑性流动而使构造进一步复杂化。东西剖面上西侧断层上盘发育一个明显的滚动背斜,并切穿了沙三上 3 次三角洲进积体系,显然滚动背斜的发育代表了依次断层活动。从第二次进积体系被卷入滚动背斜来看,这次断裂活动应发生在第二次进积之后,第三次进积体系背斜的东侧呈楔状充填向西越过背斜顶点,之后继续向西进积,第三次进积体时期是断裂活动的间歇期,之后断裂再次活动切穿了  $T_3$  界面。断裂的多次活动在这条剖面上显示的非常清楚。

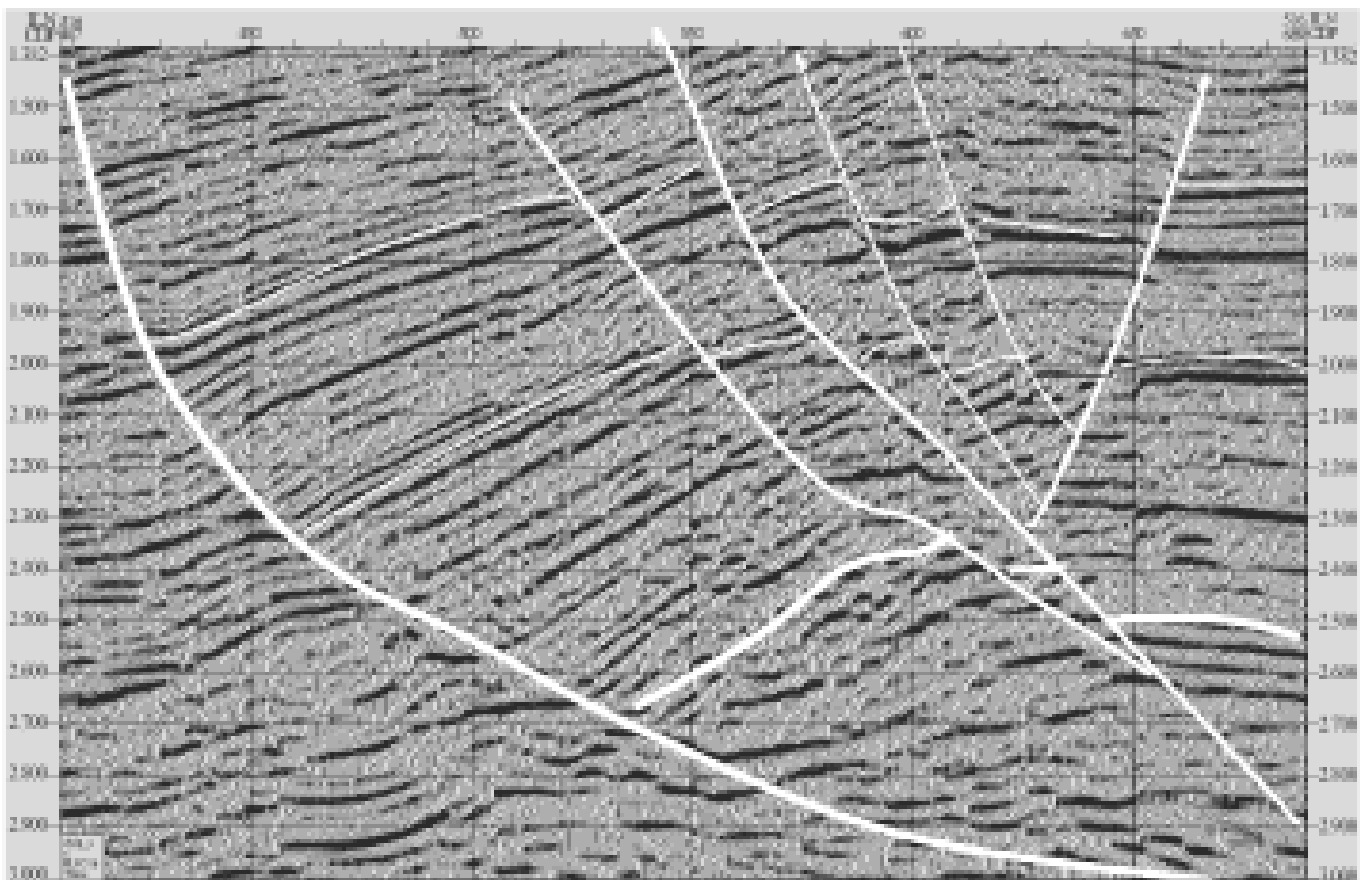


图 3-5 现河构造剖面特征

梁家楼-现河断裂带通过深部滑脱系统与北部的胜北断层相对接,从而导致中央背斜西段弧形生长滑脱断裂系统的形成。从成因上看,南部断裂系统实际上是发育于盆地斜坡带上的反向调节断层,又由于其发育于东营  $E_3^{中-上}$  三角洲的前缘,因而,又可看作是三角洲前缘的生长断裂系统,东营三角洲前缘的砂泥互层岩系和深部膏盐层是其得以发育的重要物质基础。

# 第四章 中央隆起带构造成因及演化

## 第一节 中央隆起带形成的宏观动力学机制

东营凹陷是渤海湾盆地中最著名的富生烃凹陷,中央隆起带的形成演化与东营凹陷乃至渤海湾盆地形成演化是密不可分的,渤海湾盆地数十年的油气勘探积累了大量的地质、地球物理资料,对盆地的形成和演化的动力学机制也有许多论述,根据前人研究成果结合渤海湾盆地勘探实践,笔者认为渤海盆地的形成和演化既受中生代以来欧亚板块、印度板块及库拉-太平洋板块相互作用的控制,同时也受地壳深部结构和热机制的控制。

从区域演化的动力学背景上看,在中国东部中生代区域构造演化过程中,区域构造应力场已经历过多次由左旋压扭到右旋张扭的反转。区域构造应力场转化的背景可以欧亚板块周缘三大板块构造系统之间的相互不均衡作用得到解释。

三叠纪中晚期,由于扬子板块与华北板块碰撞缝合,形成秦岭—大别—淮阳—胶南近 EW - NWW 向缝合线。华北地区受 SN 向挤压应力场的作用使渤海湾地区隆升而形成轴向近 EW - NWW 的褶皱带及逆冲构造带。

早中侏罗世中国东部可能由于受库拉板块 NWW 向俯冲,而呈现左旋压扭应力场,渤海湾地区发育了分布在准平原化隆起构造背景上的与石炭系—二叠系呈假整合接触关系的早中侏罗统( $J_{1+2}$ )含煤碎屑岩和中基性火山喷发岩。

晚侏罗世到早白垩世( $J_3 - K_1$ ),库拉板块继续 NWW 向俯冲欧亚板块,西太平洋大陆边缘形成安第斯型活动大陆边缘(郭令智,1984),郯庐断裂在该期发生了大规模的左行平移(徐嘉炜,1995),使该区 NE—NNE 向断裂系也发生了左行平移,产生了一系列受 NW—NWW 向断裂控制的断陷盆地,发育了一套以安山岩、安山玄武岩和红色碎屑岩为主的沉积。晚白垩世该区在区域性左旋压扭应力场的作用下整体抬升而形成了第三系与中生界之间的角度不整合。

下第三纪早期,库拉板块完全俯冲消亡于欧亚板块之下,而让位于太平洋板块对欧亚板块东缘 NNW 向俯冲,59Ma 左右印度板块与欧亚板块产生了软碰撞(soft collision),45Ma 到 40Ma 印度板块与欧亚板块发生了硬碰撞(hard Collision)(Lee and Lawrer,1995),太平洋板块相对欧亚板块的俯冲方向由 NNW 转为 NWW。上述区域构造背景,使得中国东部处于右旋张扭应力场之中,最大主压应力为 NE—SW,张应力方向为 NW—SE 向。渤海湾盆地内的 NNE 向边界断裂如郯庐断裂,太行山东麓断裂及其内的兰聊、沧东断裂作右行走滑—伸展构造运动。使该盆地在其东带及其西带均呈现为 NNE—NE 向盆地构造,在 NWW - SEE 方向存在伸展,坳陷均呈半地堑或地堑样式。

渤海湾盆地的中部,其构造轴线方向明显不同于东带、西带。EW—NWW 及 NE 向构造线均有发育,既存在着 NWW - SEE 向伸展,也存在着 SN 向伸展如东营凹陷。

---

郭随平,1994,胜利油区东营凹陷热演化史研究及其与油气生成的关系(南京大学博士论文)。

渤海湾盆地下第三系所表现出的走滑拉分和伸展这两种构造运动特征其动力学机制除与三大板块相互作用而导致的盆地基底 NE—NNE 向断层作右旋扭动拉分效应有关外,还可能与因断裂作用而导致的地幔物质上涌,引起地壳减薄和区域性伸展作用有关。穿越盆地的大地电磁测深剖面、深层地震剖面和火山岩资料均表明渤海湾盆地存在着地幔上隆,软流圈伸展减薄的过程,而且这一过程还存在着从早期到晚期由西南向东北迁移。

由此可以认为渤海湾盆地下第三系是在 NNE—NE、EW—NW 向基底断裂右旋扭动拉分和地幔物质上涌、岩石圈伸展减薄两种因素联合作用的结果。

晚第三纪以来,约 23.6Ma 由于印度板块与欧亚板块发生了大面积碰撞,其碰撞角度由下第三纪 N10°E 转为约 N30°E,板块的敛合速度由 60mm/a 减为约 50mm/a(姚益民,1994;王鸿祯,1997)使本区 NE—SW 向区域压应力场增强从而使渤海湾盆地发生区域性抬升而受剥蚀。结束了盆地第三系的裂陷作用。

此后,随着印度板块对欧亚板块俯冲速度的减小,本区 NE—SW 向压应力场减弱及地幔热回沉的作用使渤海湾盆地整体下沉,发展为拗陷盆地。明化镇期以来,盆地的加速下沉可能与渤海地区地幔上涌有关,预示着下一个盆地裂陷旋回的到来。

### 一、走滑应力场机制

济阳凹陷所在的渤海湾盆地是地貌特征明显的新生代盆地,其东部以郯庐断裂带营口—潍坊段为界,西部以太行山山前紫荆关断裂带及其延伸为界,二者呈 NNE 方向延伸,南部和北部分别以齐广断裂和燕山南缘断裂为界,近 EW 向分布。从几何形态看,渤海湾盆地为明显的菱形,具有典型拉分盆地的形态。东西界为大型走滑断裂带,而南、北界为大型的张性控盆断裂(图 4-1、图 4-2)。从渤海湾盆地新生代构造应力场分析(李志明等,1997;刘国栋等,1984;刘和甫,1996,1993),早第三纪盆地边界断裂明显转为右行走滑断裂。

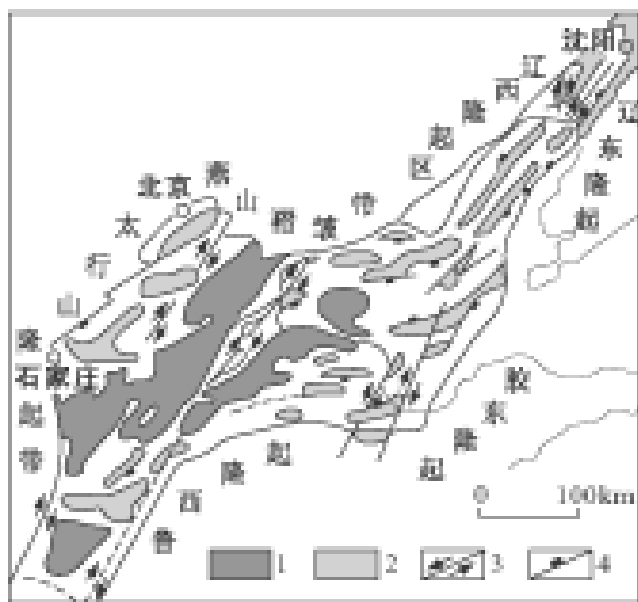


图 4-1 渤海湾盆地构造纲要图  
1. 早第三纪隆起; 2. 盆地中的凸起;  
3. 走滑断裂; 4. 正断层

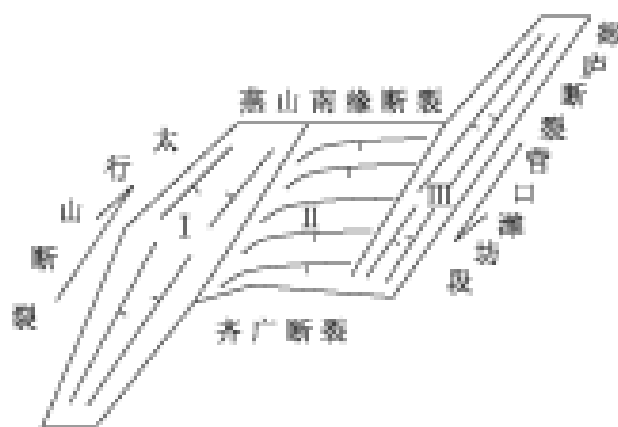


图 4-2 渤海湾盆地的构造区域划分示意图  
I. 西部走滑构造图; II. 中部拉分伸展构造区;  
III. 东部走滑构造带

盆地西界的太行山断裂和东界的郯庐断裂均为右行走滑,而南北边界为北断南超的同沉积断裂,为伸展构造。只有伸展作用不能形成渤海湾盆地万米厚的快速沉积,必须有向深部切割的走滑运动再加上伸展作用才能形成既深又广的渤海湾盆地。

渤海湾盆地的伸展构造由一系列铲形正断层组成,在深部汇聚到近水平的韧性拆离面上,一般说来,伸展作用切割深度没有剪切作用大。而且从大地构造背景分析,东部的郯庐走滑断裂常常是切割岩石圈的深大断裂,控制着渤海湾盆地的形成演化,其在区域磁异常场上是一条NE向的线型高磁异常走滑构造带,而重力场无明显的异常,莫霍面高差也不大,这可能正是大平移断层的特征。

前人的研究也表明作为渤海湾盆地的边界断层,郯庐断裂在中、新生代表现为大规模的平移走滑(最大走滑距离超过 700km,徐嘉炜),必将对渤海湾盆地的成生演化造成深远的影响,而济阳拗陷位于渤海湾盆地内,也与郯庐断裂相接,必然也受到郯庐断裂带的牵动。济阳拗陷内的凸起、凹陷、断层和褶皱多呈雁列式展布,平面上整体呈帚状,SW向收敛,NE向撒开(图 4-3),是一种典型的扭动构造,这种扭动构造本身就是走滑作用的产物,反映了济阳拗陷的形成演化与郯庐断裂应力场息息相关。而隶属于济阳拗陷的东营凹陷整体也呈帚状展布,反映二者受统一的区域应力场控制。

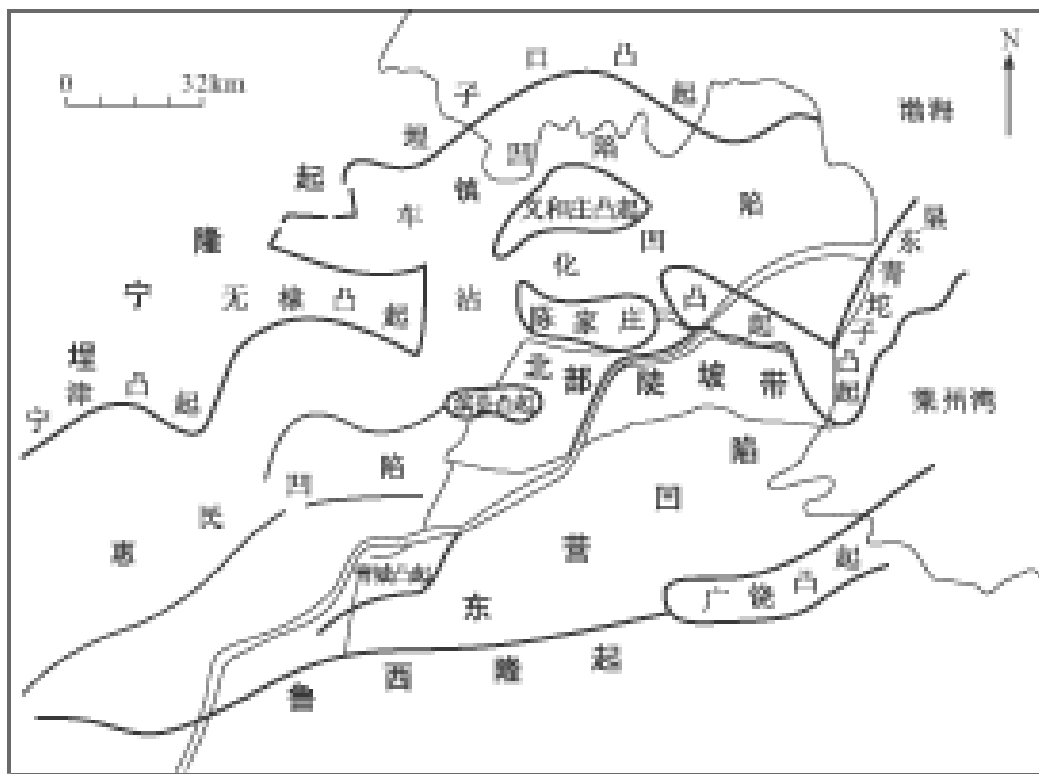


图 4-3 济阳拗陷区域构造

此外,郯庐断裂带以东苏北盆地多南断北超,而以西渤海湾盆地则多北断南超,显示出郯庐断裂走滑运动对东、西两侧块体不同的控制和影响,充分说明二者的成生演化与郯庐断裂的走滑作用息息相关。

## 二、伸展应力场机制

渤海湾盆地下第三系所表现出的走滑拉分和伸展这两种构造运动特征及其动力学机制除与三大板块相互作用而导致的盆地基底 NE - NNE 向断层作右旋扭动拉分效应有关外,还可能与因断裂作用而导致的地幔物质上涌、引起地壳减薄和区域性伸展作用有关(刘和甫,1995;刘剑平等,2000)。

东营凹陷的构造演化受到深部热构造活动的控制,具有“被动裂陷”的形成机制。由于中新生代以来的太平洋板块对中国大陆的消减作用及洋壳俯冲方式的改变,在不同时期、不同地

区发生了上地幔对流调整,岩石圈拉薄,地壳断裂,形成时空上有序分布的被动裂谷盆地。被动裂谷盆地的特点是开始为裂陷作用,后期由于热衰减和岩石圈冷却作用,形成区域性地壳下沉。天然层析(刘福田等,1986)成果表明软流圈现今上隆高点在渤海湾,最高点约 50km,位于渤中地区,向周缘则逐渐加深。东营凹陷为 64~75km。穿越盆地的大地电磁测深剖面、深层地震剖面和火山岩资料均表明渤海湾盆地存在着地幔上隆,软流圈伸展减薄的过程,而且这一过程还存在着从早期到晚期由西南向东北迁移。

在断陷期,常形成一系列单断的箕状凹陷或双断的地堑凹陷,滚动背斜、犁式正断层颇为发育,构成凸起和凹陷分隔的构造格局。而在坳陷期,统一了断陷期凹凸相隔的构造格局,盆地整体下沉,褶皱与断层不发育,多为平缓的披覆构造,东营凹陷的盆地演化特征与此极为吻合(图 4-4,据付瑾平)。图 4-5 是根据人工地震测深成果和消除低密度新生代沉积层重力效应后的布格重力异常资料编制的,由此可以认为渤海湾盆地第三系是在 NNE—NE、EW—NW 向基底断裂右旋扭动拉分和地幔物质上涌、岩石圈伸展减薄两种因素联合作用的结果。

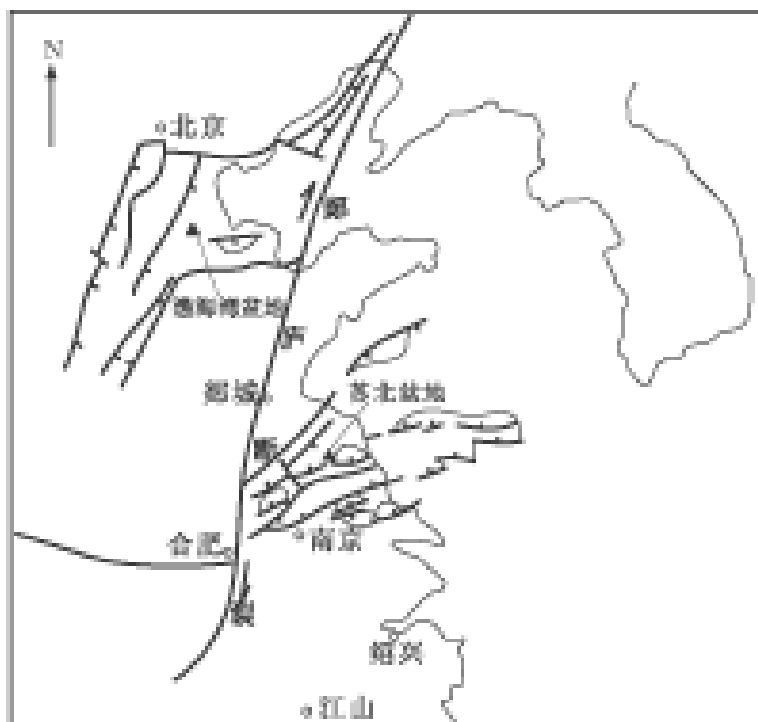


图 4-4 渤海湾盆地、苏北盆地与郯庐断裂关系图  
(据付瑾平,1996)

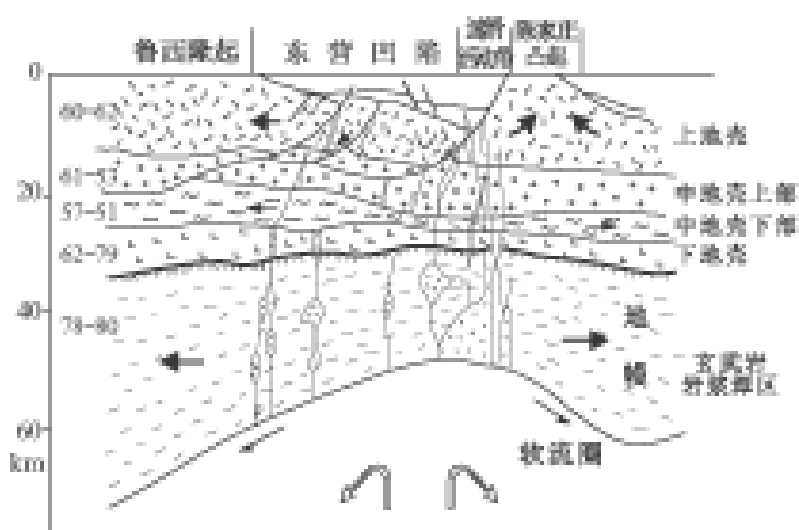


图 4-5 东营凹陷岩石圈结构  
(据付瑾平,1996)

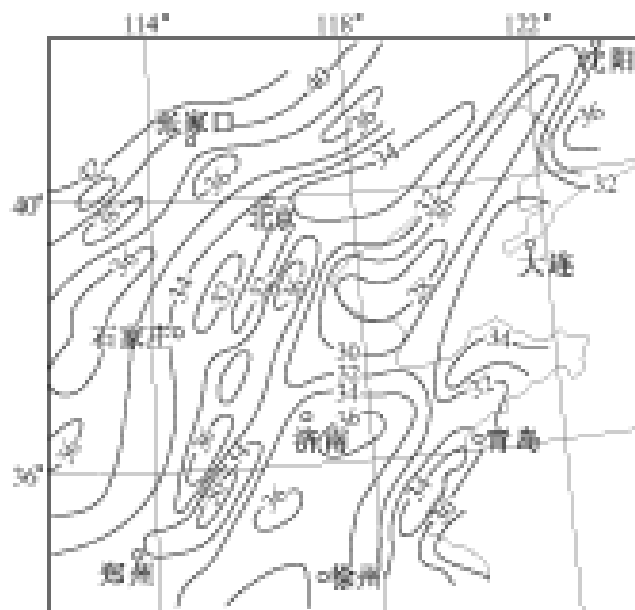


图 4-6 渤海湾地区软流圈顶面等深线图  
(单位:m)  
(据刘国栋等,1984)

这些均说明盆地地壳伸展减薄,浅层构造与深部构造遥相呼应,二者呈镜像关系,有内在的成生联系。

### 三、反转应力场机制

反转构造动力学机制是探讨或揭示反转构造或反转盆地形成的驱动力。在造山带研究中

反转作用早已被地学界应用,但研究含油气盆地反转直至 20 世纪 80 年代才得到了学术界的重视。目前对反转构造概念的认识有狭义和广义两种理解。早期学者们所涉及的反转构造是指正反转构造,而很少有人研究和探索负反转构造。从广义理解看,反转构造是指地壳上的构造,在它演化中伸展构造系统,挤压构造系统相互作用和相互转换的产物,它与地动力转换有关,是在构造演化的不同阶段、不同地动力条件下,构造变形体系叠加或复合的构造样式。换句话说,反转构造的形成是地动力改变的结果,这种构造可以发生在构造演化的不同阶段和不同的地动力条件下,它们的构造样式为叠加或复合构造样式。研究区广泛发育了中生代先存的挤压构造系统,形成一系列褶皱和逆冲断层,至新生代地动力改变为伸展力,构造再活动,形成正断层和半地堑系、地堑系的负反转构造,图 4-7 中  $T_R$  反射在凹陷内地层减薄,是负反转构造的明显特征,这类负反转构造常为油气有利的富集区。这类反转构造的动力学机制,是挤压和扭动作用。

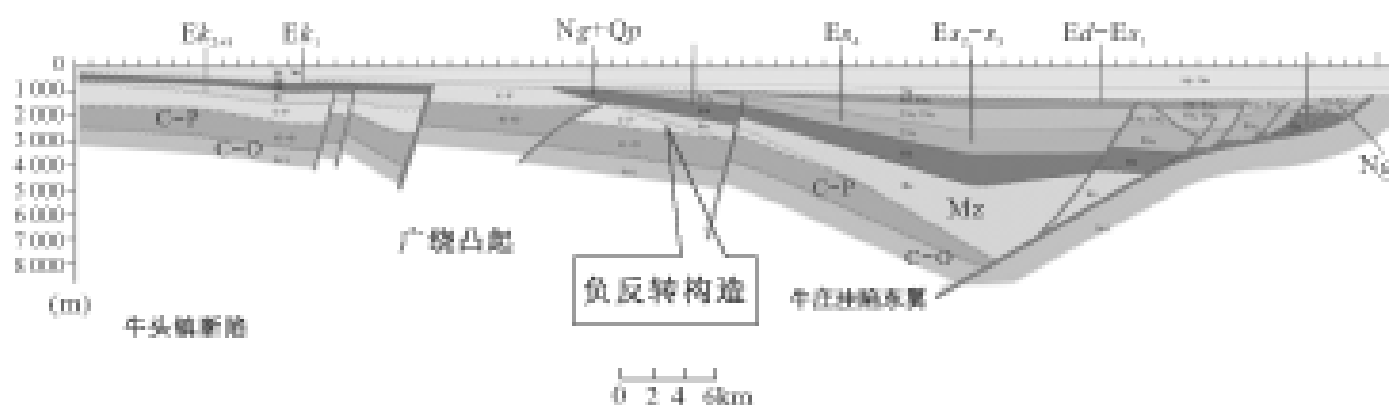


图 4-7 东营凹陷 639.0 测线地质剖面

东营凹陷是走滑构造、伸展构造和反转构造三个并存的构造系统,在空间上相互作用和改造,形成复杂的构造叠加和复合关系。构造物理模拟实验结果和东营凹陷营 13 断块东营组构造格局实例也揭示了这一机制(如图 4-8、图 4-9),从而形成东营凹陷整体的构造面貌,并控制了烃源岩的分布、储集体的发育、圈闭的形成和油气的分布。

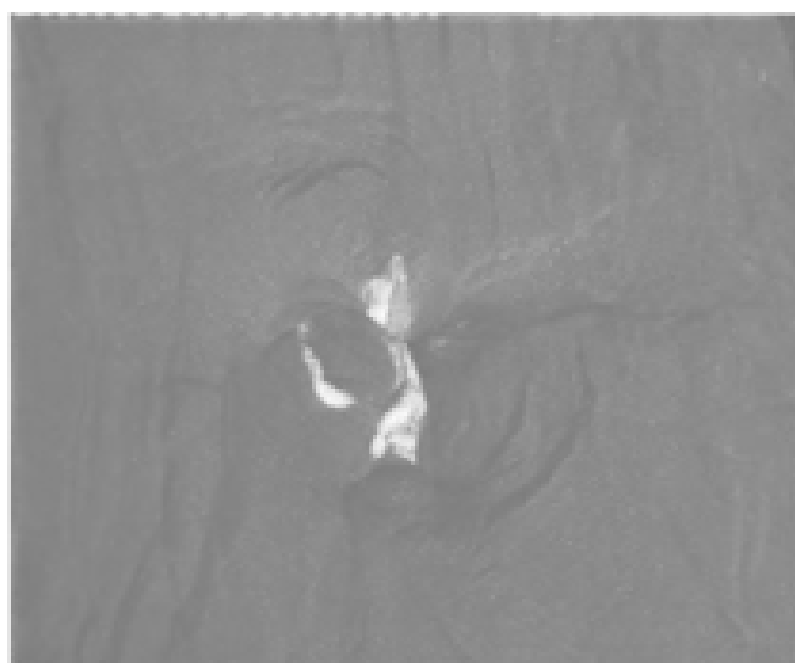


图 4-8 伸展、走滑复合应力模拟的放射状和环状构造

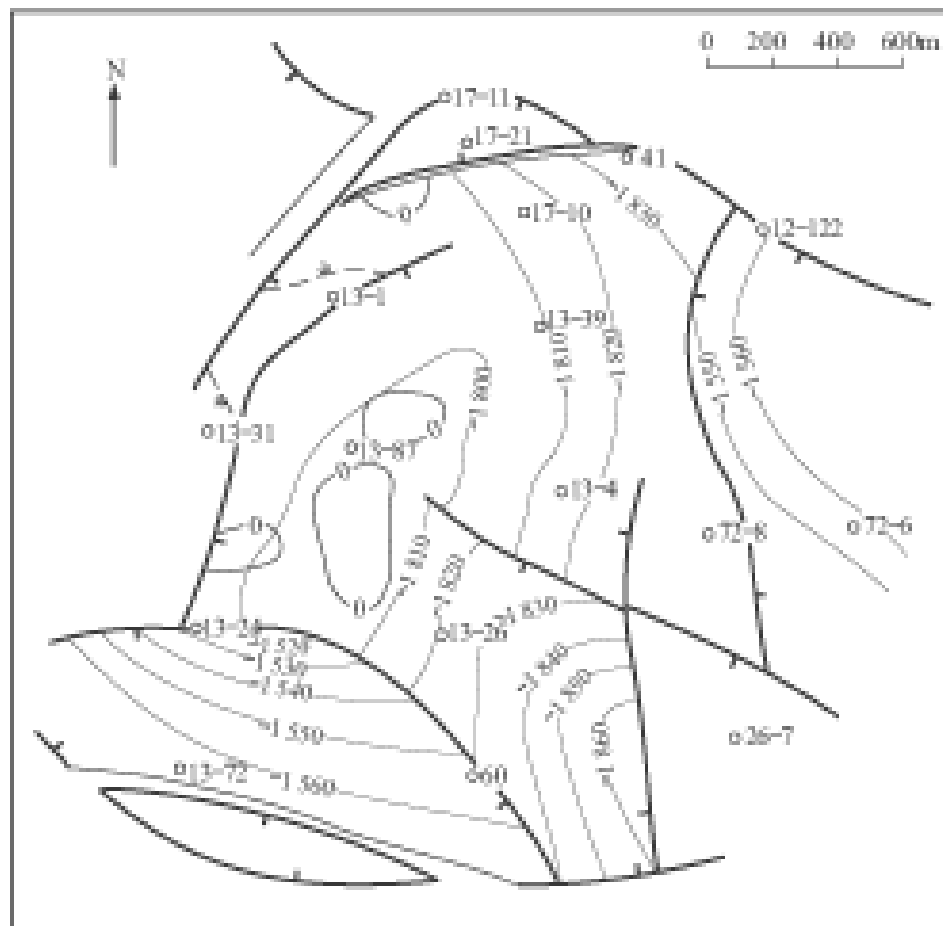


图 4-9 营 13 断块东营组构造图(等高线单位: m)

## 第二节 中央隆起带形成机制

中央隆起带是第三系的同沉积构造带,它发育于东营凹陷形成之后。有关中央隆起带的成因机制及形成过程,前人已做过很多研究。一般认为,中央隆起带是受深部塑性地层拱升而形成的一种“塑性拱张构造”。根据地震及钻井等资料,结合国外典型底辟构造实例和前人所做工作,尤其是结合前面对东营凹陷的整体构造背景和形成机制的解剖,综合分析认为,中央隆起带的形成是在区域和局部构造应力场的控制下,由断裂的重力滑动作用和塑性层拱张共同作用的结果。

### 一、断裂的重力滑动作用

理论计算及物理模拟研究(如 Dula, 1991; Withjack, 1995; Gibbs, 1983; Xiao and Suppe, 1992 等)表明,盆地内部的变形与控盆主边界断层的几何形态有密切关系。图 4-10 表示一个切过先存地层并随深度向下弯折变缓的正断层。当断层上盘与下盘拉开时,如果是刚性体,则会在二者之间形成一个空隙,但岩层并非刚性体,会向下崩塌充填这个空隙,从而导致岩层变形。有多种上盘崩塌的模式被提出来,其中 Xiao 和 Suppe(1992)应用库仑剪切破裂理论较好地模拟了这一过程。图 4-10B 显示受重力作用,上盘岩块将沿着倾斜角大约为  $70^\circ$  的 Coulomb 破裂面滑移而充填这个空隙。在这一个过程中,将发生沿 Coulomb 剪切破裂面方向的变形,形成滚动背斜。变形区构成了滚动背斜的前翼,并处在沿断层弯折部位定位的活动轴面(active axial surface)和不活动轴面(inactive axial surface)之间。不活动轴面是一个代表变形前沿活动轴面分布的岩石的一个界面。在递进的断层滑移过程中,不活动轴面向离开活动轴面的方向(向盆地方向)位移,从而滚动变形区随断层的位移增大而逐渐加宽(图 4-10C, D)。

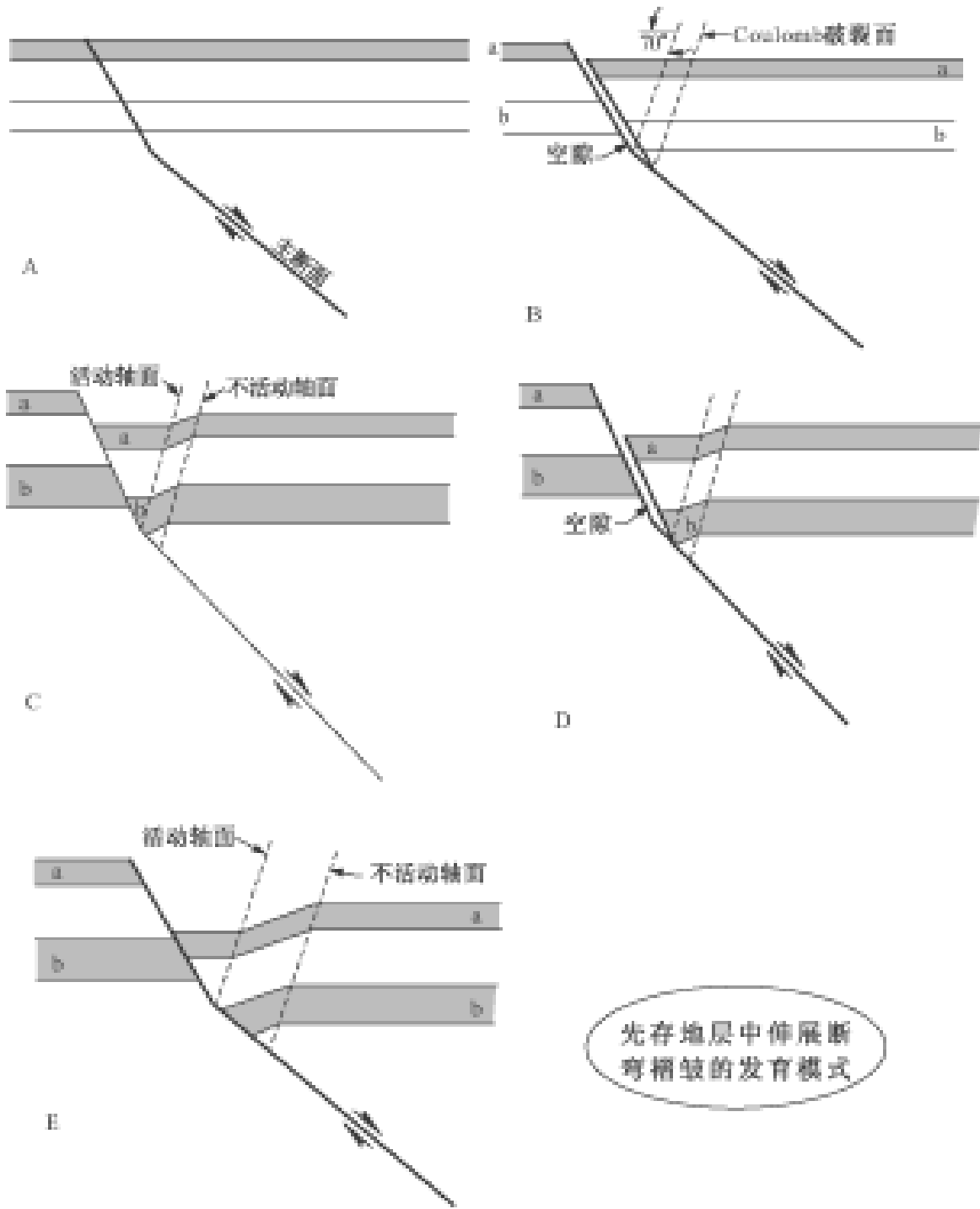


图 4-10 先存地层中伸展断弯褶皱的发育(任建业等,2004)

图 4-11 表示一个上凹弯折断层上盘同沉积地层中伸展断弯褶皱的发育过程。该图表示同沉积地层变形区限制在一个由先存地层顶面,活动轴面和生长轴面(growth axial surface)限制的楔形生长区内(图 4-11A),岩层 1 是最新沉积物,活动轴面和生长轴面在岩层 1 界面的交汇点是正在进入变形区的物质。图 4-11B 表示岩层 2 沉积时,进入生长楔内的岩层 1 已

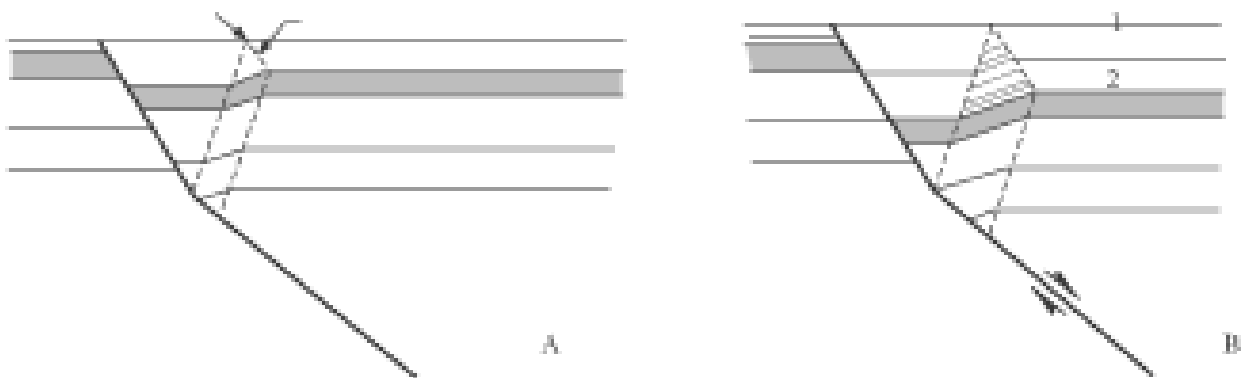


图 4-11 同沉积断层中伸展断弯褶皱的发育过程(任建业等,2004)

遭受到平行于活动轴面的变形。在同沉积断陷盆地中,受铲式断层控制的伸展断弯褶皱的前翼越向下进入变形区的岩层越宽,褶皱幅度越大;向上则逐渐变窄,以致消失。岩层变为水平。

与上述模式相比较,从东营凹陷穿越辛镇背斜的一个典型剖面(图 4-12)可以看出,尽管盆地内有复杂的断裂发育,但仍可以看出盆地的主体构造是一个大型的受陈南铲式断裂带所控制的伸展断弯褶皱。位于褶皱前翼的地层,进入变形区的宽度越大。如图中  $T_R$  界面处于变形区内,所以靠近主断层(陈南断层)的地层均变陡,显示褶皱形态。 $T_7$  界面处于变形带中的部分而变陡,但靠近主断层未进入变形带的部分保持水平,再向上,进入变形带地层的宽度逐渐变小,因而地层倾角逐渐变缓。因此,中央隆起带最初的形成起源于陈南断层的重力滑动作用。

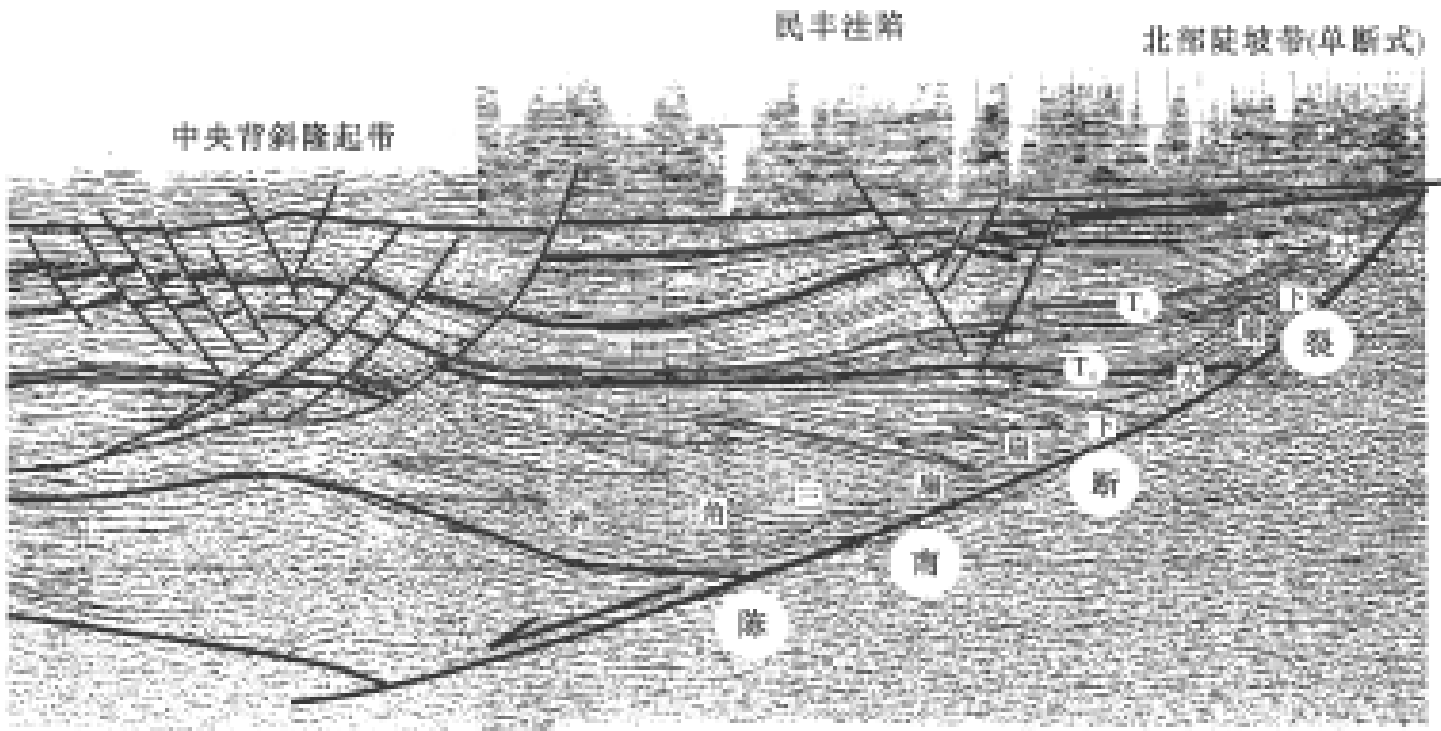


图 4-12 东营凹陷 624-8 测线的地震剖面

## 二、塑性层拱张作用

### 1. 东营凹陷底辟形成条件

东营凹陷是一个北陡南缓的箕状新生代断陷盆地,始新世至渐新世初期,随着北部边界同生断裂的强烈活动,凹陷大幅度沉降,迅速沉积了大套的近海湖泊相砂泥岩系,其中包括巨厚的红色泥岩层。后期在凹陷中部又沉积了盐岩、石膏层,沉积的前期,泥岩埋藏浅,盖层薄,负荷轻,尚未成岩,由于盖层的负荷和泥岩自重使得含水软泥岩带动负载层一起沿沉积底面自凹陷中心作区域性迁移,当然这种流动很缓慢,所引起的塑性变形也很微弱。另一方面随着盖层厚度不断增加,负载层的压力差越来越大,促使塑性层向盆地中心进一步集中并拱起。东营凹陷中有底辟构造发育的地质依据有以下几方面:

第一,凹陷中普遍发育塑性岩层。深探井和数字地震资料证实,东营凹陷在始新世末至渐新世初(孔店组上部至沙四段)普遍发育盐岩、石膏、软泥岩等塑性岩层,如东风 1 井已钻穿盐岩、石膏、软泥岩厚达 1 000m 以上。相带平面分布上有一定规律,即环绕凹陷的边缘为一含碳酸盐岩的相带,而凹陷的中心部位是以盐岩为特征的巨厚的盐、膏、泥岩层,介于凹陷中心和边缘之间的地区,地层是以含石膏为特征的膏、泥岩层系。在整个塑性岩层剖面中,软泥岩占

有特别重要的位置。

第二,塑性岩层的刺穿现象。东营凹陷塑性岩层顶面起伏很大,埋藏深度由 2 781 .5(坨 50 井)~3 768 .0m(东风 2 井)。根据地震时间剖面推断,塑性层底板深度达 3 .2s(埋藏深度约为 7 000m 左右),盆地中心底板坡度 2°~3°或近水平,北部较陡 15°~25°,南部 10°左右。塑性层由于发生过流动,原始层理遭受强烈挠动,因此时间剖面上反射界面杂乱,不连续,这种形态杂乱的波阻和成层完美的上覆沉积岩系之间形成清晰的分界面,从而显示出了底部刺穿的层位关系,这种现象在东营-现河庄构造时间剖面上十分清晰。根据东营构造深探井地层对比,也发现构造顶部沙四段下部盐、膏层顶面之上缺失沙三下和沙四上两段地层,缺失深度约为 250m,这正是岩层被刺穿的初期表现,也就是墨西哥湾石油地质学家所称的“吊桥构造”。

第三,基底和基层构造不符合,这是本区构造的重要特征之一,根据布格重力异常图,整个凹陷基底起伏不大是一个完整的统一盆地,沙四段沉积终止时,盆地构造基本上保持了原基底的面貌,至沙三段沉积时,凹陷中部明显上隆,形成一些孤立的小隆起小凹陷,而利津、六户一带开始下沉,出现中央隆起带的雏型,沙二段沉积时期坨庄-胜利村一带进一步隆起,民丰地区剧烈下陷,至此,东营凹陷发展成为一个多凸多凹的复杂的盆地。

如前所述,东营凹陷下第三系中存在着两种性质不同的塑性岩层,一种是盐岩、石膏,另一种是软泥岩。这两种岩层在构造中虽然都显示出明显的塑性变形,但是塑性的形成机制是不同的。盐岩、石膏是否具有塑性,决定于是否达到了它的软化点,也即决定于它的埋藏深度。按照博歇特和缪尔的意见:“在深度 2 500~3 000m 之间,温度约为 100°,则每平方厘米的压力在 600kg 以上。在这种条件下,盐的塑性极强,埋深深度愈增加,盐的流动性还会更大”。

泥岩的塑性则是另一种情况,它的塑性的产生主要是由于泥岩成岩(压实作用)过程中异常流体孔隙压力的出现。泥岩的成岩过程也就是排出孔隙水而压实的过程,在沉降和沉积速度很快的条件下,泥岩中的孔隙水来不及大量排出而被封闭在泥岩孔隙中,这时孔隙中的流体压力大大超过了正常的静水压力,即出现所谓异常的孔隙流体压力。

孔隙流体压力( $p$ )与地静压力( $S$ )的关系可用下式表示

$$p = \alpha S \quad (4-1)$$

式中  $\alpha$  为压力系数,其大小随岩石的性质和埋藏深度而变化。对于泥岩来说  $\alpha$  值介于 0.45~1 之间, $\alpha = 0.46$  时,孔隙流体压力等于静水压力,压实作用达到平衡。而当孔隙流体压力大于静水压力时,即出现异常孔隙流体压力。 $\alpha = 1$ ,异常压力达到最大值,这时孔隙流体压力等于地静压力,压实作用完全停止。异常压力越大,泥岩的内摩擦角越小,流动性就越强,因此,可以用  $\alpha$  值来衡量泥岩的流动性能。

对东营凹陷沙四段、沙三段部分软泥岩层段的  $\alpha$  值进行了计算。根据计算, $\alpha$  值在 0.75~0.81 之间,沙三段中下部的泥岩  $\alpha$  值在 0.68 左右。上述计算结果表明,东营凹陷沙四段,沙三段泥岩  $\alpha$  值较高,说明该岩层中某些泥岩层段,至今仍保持着较高的塑性。

东营凹陷的塑性层分布普遍,但是目前钻井所揭示的只是 4 500m 以上塑性层的表层,5 000~7 000m 深层的塑性层的主体岩性尚未揭示。

根据资料分析,墨西哥湾典型盐丘发育区盐岩、石膏的流动刺穿能力是很强的,300m 厚的盐岩在上覆盖层厚达 1 000m 时即可发生流动,其流动速度一般为 0.3mm/a,随着埋藏深度的增大,刺穿高度可达 1 000~2 000mm。东营凹陷的塑性层埋藏深度在 3 000m 以上,厚度 2 000~3 000m,但所形成的塑性岩脊最高也仅在 1 000m 以下,这和泥丘构造的特征十分近似。因此,推断东营凹陷形成底辟构造的塑性层的主体是软泥岩。

## 2. 构造的发育过程有利于底辟构造的发育

东营凹陷底辟构造是区域构造变形的一个组成部分,下面从区域构造发育史的角度,概要地讨论一下东营凹陷底辟构造的形成过程。

东营凹陷始新世至渐新世初期,随着北部边界同生断裂的强烈活动,凹陷大幅度沉降,迅速沉积了大套的湖相砂泥岩系,其中包括巨厚的红色泥岩层。后期在凹陷中部又沉积了盐岩、石膏层,沉积的前期,泥岩埋藏浅,盖层薄,负荷轻,尚未成岩,由于盖层的负荷和泥岩自重使得含水软泥岩带动负载层一起沿沉积底面自凹陷中心作区域性迁移,当然这种流动很缓慢,所引起的塑性变形也很微弱。另一方面随着盖层厚度不断增加,负载层的压力差越来越大,促使塑性层向盆地中心进一步集中并拱起,开始出现中央隆起带的雏形。后期,特别是进入沙三段沉积时期,由于沉积速度快,负载层的厚度进一步增大,加之有盐岩和石膏作用层,阻碍着沙四段泥岩的压实成岩,从而形成了具有高异常流体压力的塑性泥岩层。自沙四段末期开始,由于塑性岩承压的不均衡,随着凹陷北部和中部中生界基底断裂的继续活动以及沙三段沉积末期三角洲的不断向南推进,东营凹陷开始分异,以辛镇-现河庄-梁家楼为界,南部出现牛庄洼陷,北部出现利津和民丰凹陷,至沙三段形成三个沉积中心。该期辛北断裂继承基底断裂活动,上覆沉积地层加厚,促使塑性层上拱。在塑性层上拱的影响下发展,边界次级断层产生,并发生滑脱伸展,在断裂的下降盘开始出现辛镇“逆牵引”构造,中央隆起带发育,并逐渐加剧。与此同时,沿北部陡坡带形成低隆起塑性岩枕带各构造,及其伴随的边缘向斜带。

中央隆起带夹持在南北深凹陷中间,塑性岩厚,拱起高,局部地区造成顶部刺穿和顶部塌陷,并依次形成“包心式”的地堑断裂系统。东营构造由于处于三个洼陷的邻接处,塑性岩从三个方向向这里集中,因而构成穹隆形构造,顶部断裂呈放射状,实质上是三组地堑断裂系的交叉。胜利村构造本属北部塑性岩枕带上的一个构造,由于民丰砂岩体向南推进,迫使深部岩枕由北东东向转为近南北向,顶部地堑也随之偏转。

渐新世末期,凹陷缓坡的塑性层尖灭带在上覆盖层的压力下小幅度上拱,和南缘断裂相配合,形成一系列小型隆起,如王家岗、牛四井、六户等构造。

下第三纪末期东营组沉积末期,构造生长速度达到最大并基本定型,但微弱的隆起和断裂活动一直延续到新第三纪馆陶组和明化镇组。

以上对底辟构造形成机制的分析着重强调了重力负荷的垂向运动,但实际上在承受重力作用的同时,也明显受着水平扭应力的影响。北部塑性岩枕带和中部岩脊带的雁行排列形式明显的证明了这一点。

中央隆起带最初的形成取决于陈南断层的重力滑动作用,即在陈南断层上盘下掉沿断面产生的上拱力和盆地的差异升降、断块掀斜运动在凹陷中央产生的挤压力的合力,并伴有上覆沉积盖层的重力影响,其作用结果使得本区沙四段大面积的塑性层发生侧向流动引起拱张断裂,奠定了中央隆起带的雏形以及后期的宏观展布。只是后期塑性层的拱张使背斜带上升幅度加大,断裂更加错综复杂、在隆起带的背景上又叠加了多个既有成因联系又相对独立的局部背斜构造而已,下面的构造模拟实验也充分证实了这一观点。

## 第三节 构造模拟实验与结果分析

### 一、实验装置及实验方法

#### 1. 实验装置

本地质构造模拟实验装置由大庆石油学院制作完成。为了充分显示它的直观性,采用了强度比较高的有机玻璃做模拟装置的首选材料。考虑它在内外力的作用下不受影响(变形或断裂等),故采用厚度为 25mm 和厚度为 15mm 的有机玻璃板材(图 4-13)。

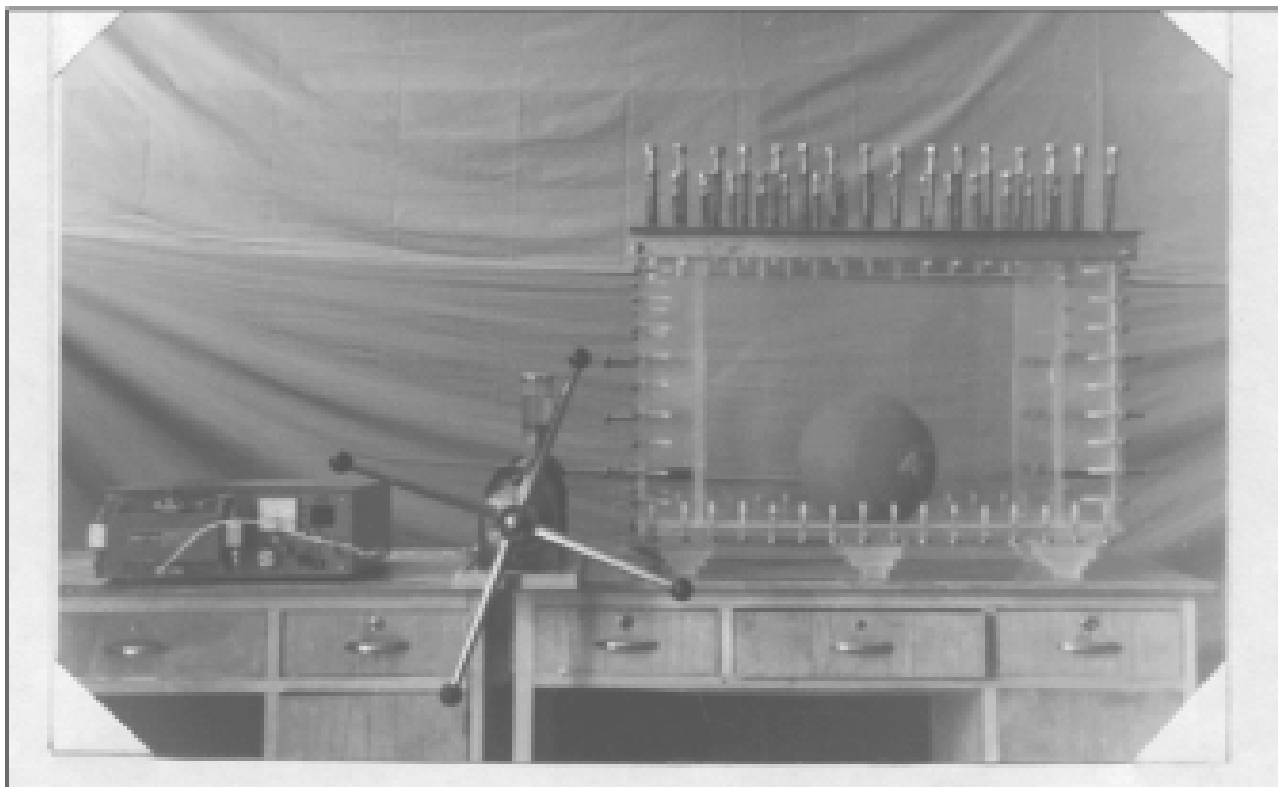


图 4-13 JHZ 型地质构造模拟装置

设计尺寸:800 × 360 × 500(单位:mm)

内部净尺寸:570 × 310 × 500(单位:mm)

模拟装置的外作用力:在模拟装置上,上面的盖有 36 个 100mm 长的弹簧,分别有长 165mm 的 M12 螺杆与上盖一起固定在装置的上部、上盖在弹簧力的作用下可向上移动,并在弹簧力的作用下有一个向下的反作用力。在装置的两个长端的两侧加工有 100mm 的滑动槽。内侧板在内侧的两端均有 100mm 的滑动范围,外端由外侧板固定。内外侧板之间由 100mm 长的弹簧作为内滑动板的作用力即装置的水平力。作为力的传递媒介,我们采用了橡胶球(直径:34mm),将其用加工的高压接头连接固定在装置底板的中部(图 4-13)。

#### 2. 力源装置

力的提供,通常可采用机械力、气源力、液压力等。本实验装置采用了液压力,可以通过注入液量的大小、泵压的大小来控制力的大小以及力对地层变化的轻重缓急,使其更趋近于地质的构造运动力。本装置采用了 SY-02A 双柱塞微量泵(图 4-13):

泵压:0 ~ 10MPa

注液量:0.1 ~ 1 000 mL/h

WGP-6 型微量高压平流泵

泵压:0 ~ 25MPa

注液量:0.04 ~ 0.09mL/min

JB- 型高压手动计量泵

泵压:0 ~ 50MPa

注液量:一次满量程 210mL

将液压泵用高压管与液压球连接在一起,即完成了整个模拟装置的工作(图 4-13)。

### 3. 实验方法

(1) 将模拟装置按要求组装好,将液压泵用高压管与模拟装置连接在一起。要保证注液部分的高压密封(图 4-14)。

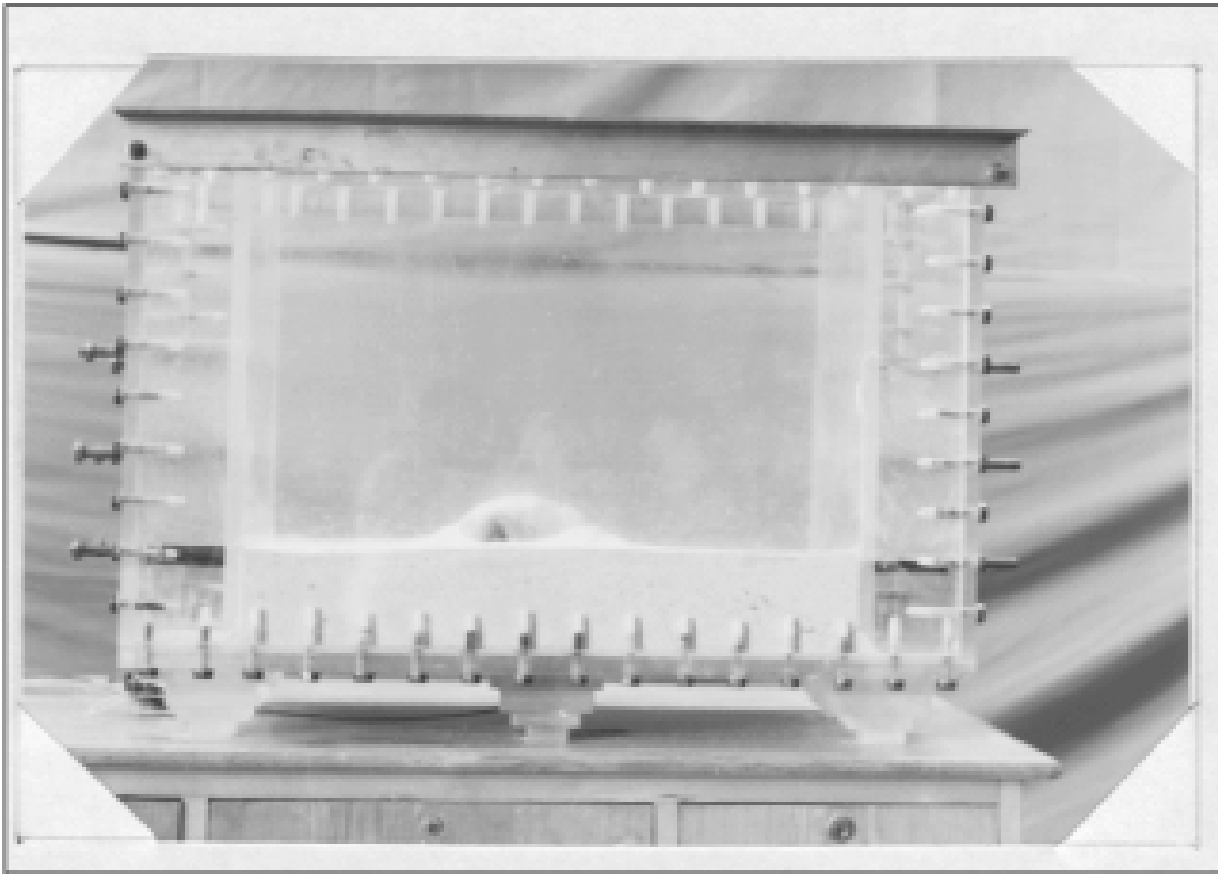


图 4-14 JHZ 型地质构造模拟过程示意图

(2) 将橡胶球体向下折成半球状,用足够的石英砂拌入适量的石膏粉。搅拌均匀,再加入适量的水搅拌均匀即可。注意水不要多,以石英砂和石膏粉混合材料成湿润状即可。将搅拌好的沙子撒入半圆球的周围,铺平压实。然后,即可铺入第一层的地层。第一层是泥岩层(本次实验采用的泥土经过了粉碎机粉碎、筛选)。首先,将泥土用水和均匀(注意:不能放过量的水,掌握在最后能压实固结在一起),在砂的上面铺一张弹性非常高的纸。然后,将和好的泥土均匀地铺在纸的上面,铺平压实(夯实)。第一步的工作完毕之后将其放置,让其自然固结(注意:不能太干,要保持在半干的状态最理想)。

(3) 注液开启泵开关,向模拟箱体內的球体注入液体(水)。首先,要缓慢的注入,一边注,一边注意观察地层的表面变化。如微裂缝出现,应立即拍照(用摄像机录下更好)。随着液体的注入,球不断地膨胀,地层缓慢地变化,裂缝不断有序地出现(图 4-15)。用相机将这一变化的全程的每一个细节都照下,留做资料。

(4) 注液到一定程度,即地层变化到适当程度,注液停止。进行下一层的铺设工作,铺设

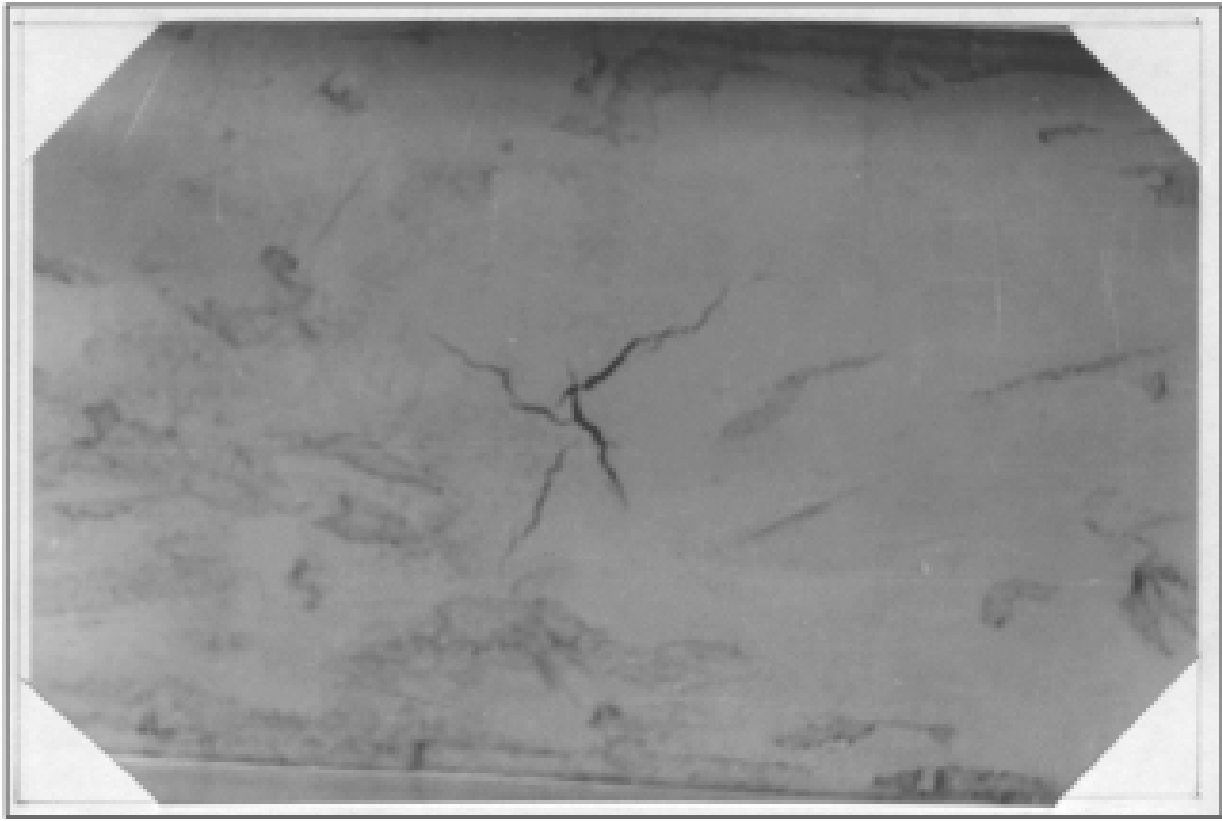


图 4-15 JHZ 型地质构造模拟过程示意图

程序与上面的一样。铺设的层厚要视要求而定。

(5) 整个设计层都铺完,地层的构造形态的最后阶段,注意将装置的一端的移动端固定,另一端的移动端的紧固螺栓松开,以保证地层构造变动的最后完成。

## 二、构造模拟分析

### (一) 底辟模拟

#### 1. 模拟条件

(1) 四周固定。

(2) 球体有一半水、地层初始平坦,后在隆起基础上覆盖,顶平。

#### 2. 实验过程

(1) 注水加力,顶面出现放射性裂缝。

(2) 继续注水加力,顶面放射性裂缝外侧出现环形断裂(图 4-16,图 4-17)。

### (二) 有限伸长模拟

#### 1. 模拟条件

(1) 侧向固定。

(2) 沿箱长轴方向有限伸长(受弹簧约束)。

(3) 球体有一半水、地层初始平坦,后在隆起基础上覆盖,顶平。

#### 2. 实验过程

(1) 注水加力,首先顶面出现横向主裂缝,其侧向出现一些斜交次级裂缝,且主裂缝尾部最发育。

(2) 继续加力,顶面出现放射性裂缝。

(3) 上部加层,继续加力,顶面放射性裂缝联合,形成环形裂缝。剖面上裂缝较陡(图 4-18,图 4-19)。

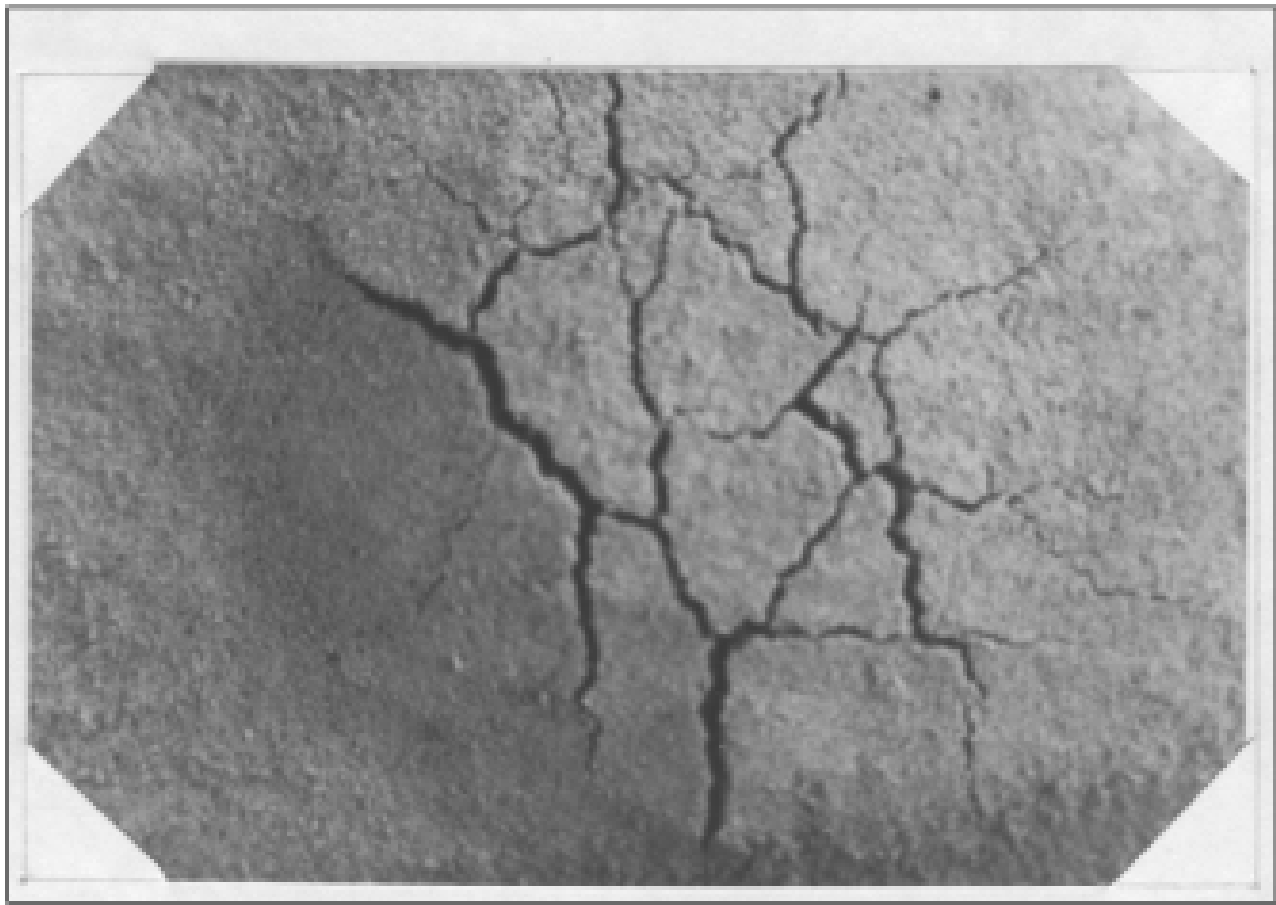


图 4-16 底辟构造模拟——顶面出现放射形裂缝、外侧出现环形裂缝

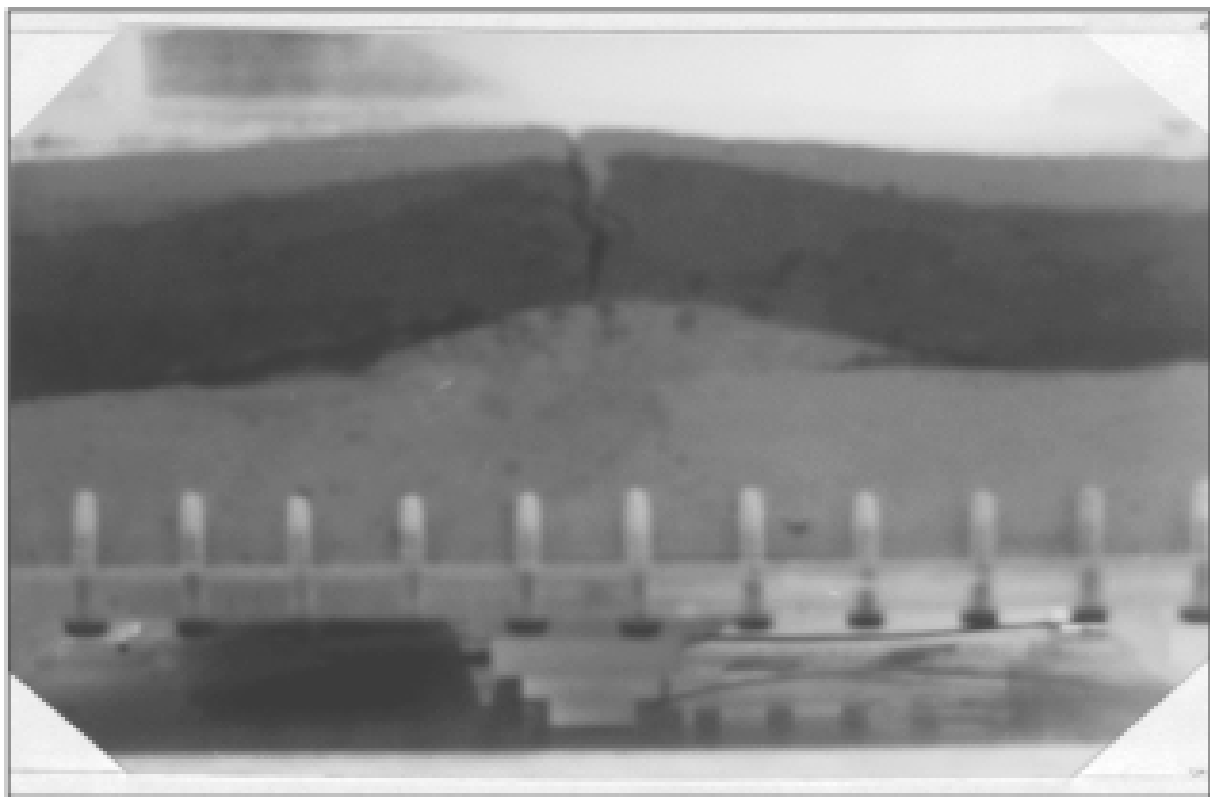


图 4-17 底辟构造模拟——侧面模拟示意图

### (三) 单向无限伸长模拟

#### 1. 侧向无固定

(1) 约束条件：侧向上没有钢架约束；施力过程中，轴向首先为有限伸长，至剖面断裂出现后，一侧固定，另一侧不固定；地层平坦，球体有一半水，后期砂、泥层在隆起上覆盖，顶平。

(2) 实验结果：首先在顶面上出现短轴方向主裂缝；继续加力出现沿长轴方向裂缝；

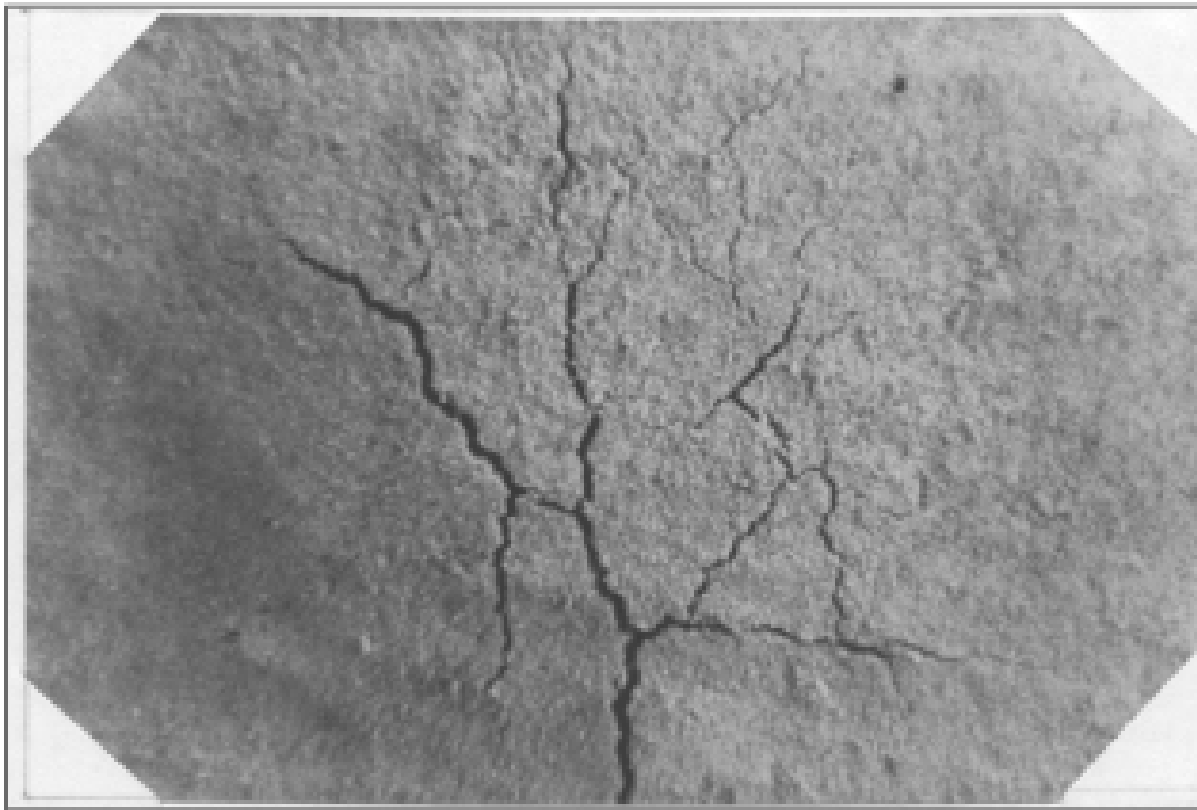


图 4-18 有限伸展模拟——顶面出现放射性裂缝 形成环状裂缝

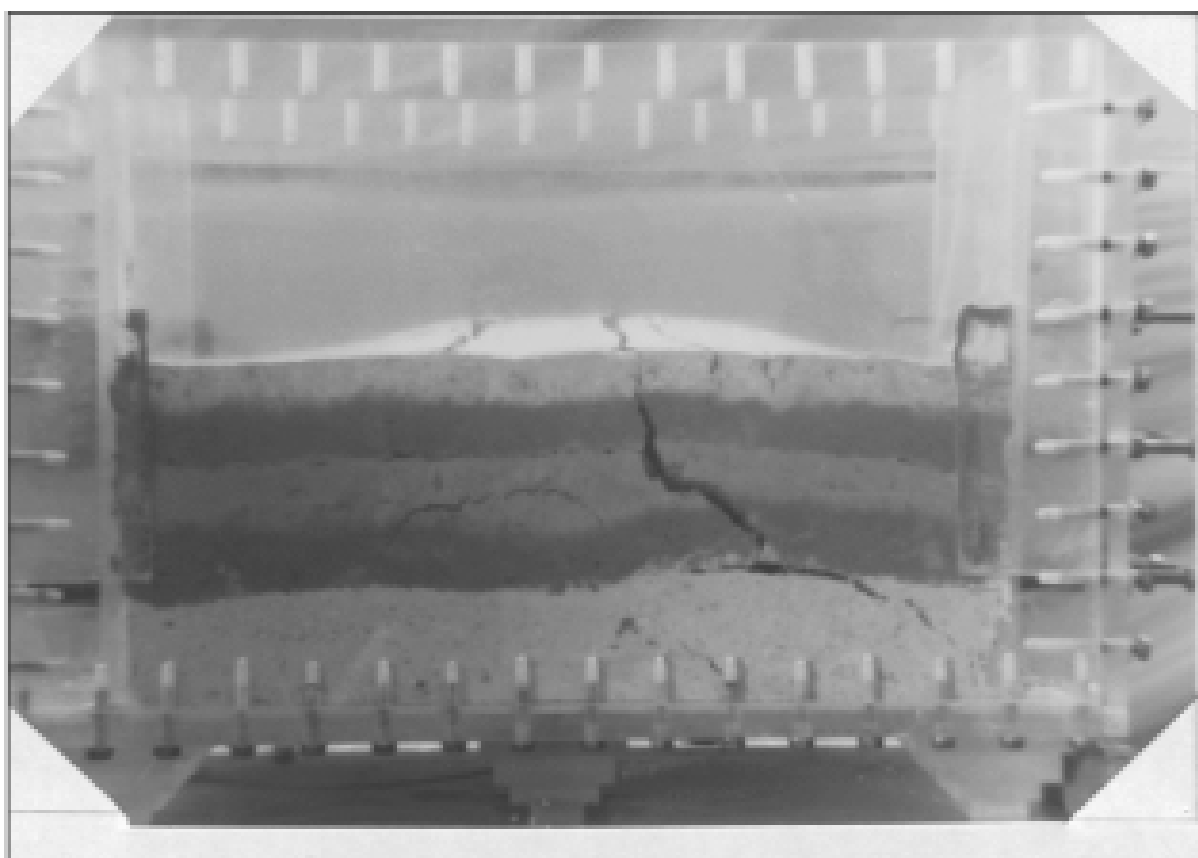


图 4-19 有限伸展模拟——侧面模拟示意图

继续加力剖面出现自下而上的裂缝,主要出现在球体两侧。中部主裂缝向下延伸并出现反向裂缝。继续发育,相对较陡(图 4-20,图 4-21)。

## 2. 侧向固定

(1) 约束条件。除侧向固定外,其他条件与上一种情况一致。

(2) 实验结果: 加力,首先在顶面上出现短轴方向裂缝(图 4-22); 继续加力,主裂缝加长、加宽,剖面上形似正断层; 继续加力、加层,顶面正断层加宽、联合,出现反向正断层,下部球体两侧出现正断层,由下向上延伸; 继续加力,并将一侧固定放开,主裂缝向下延伸变缓断

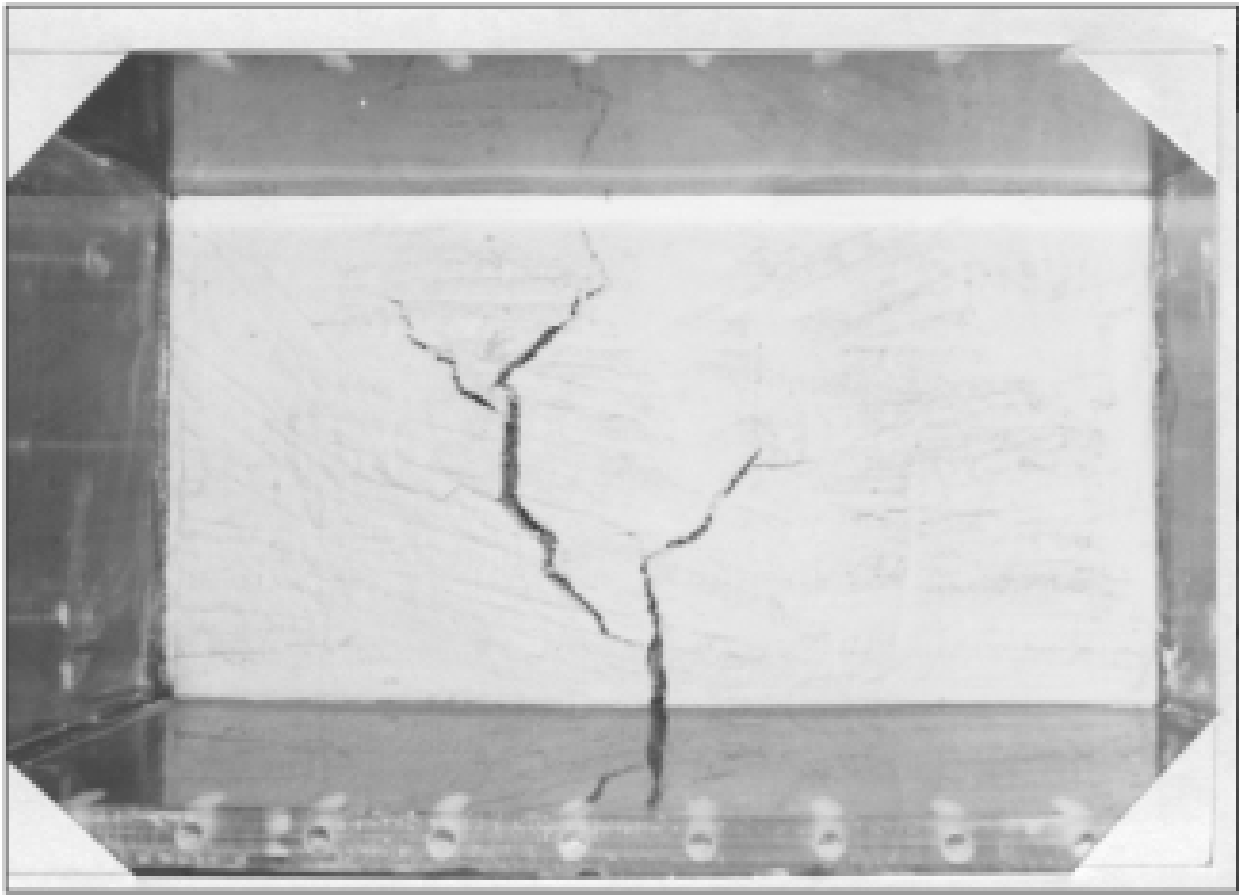


图 4-20 单向无限伸展模拟——顶面出现短轴方向裂缝

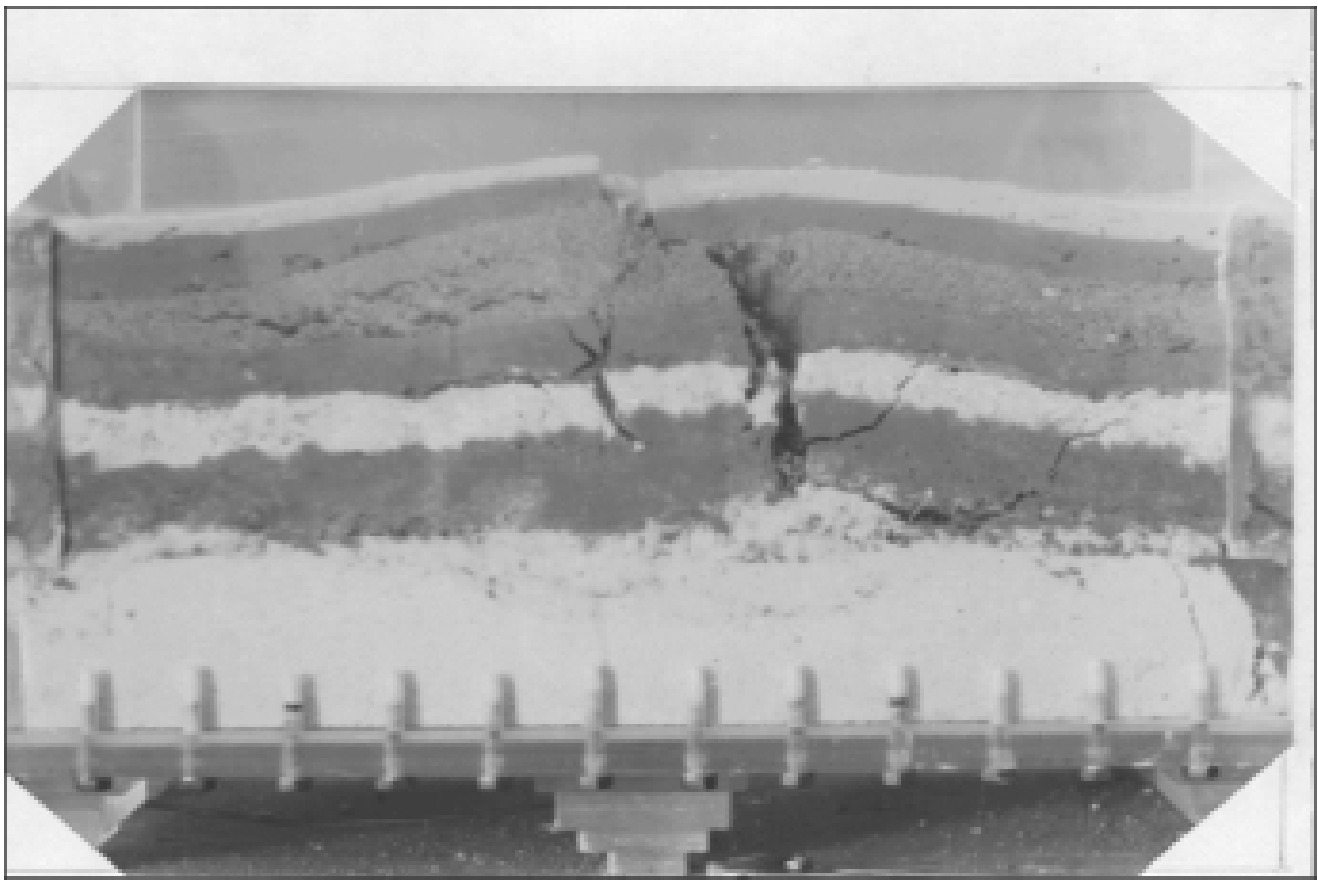


图 4-21 单向无限伸展模拟——侧面模拟示意图

层,并且砂层顶部滑脱,此时反向断层出现两条,模型顶部出现“包心菜”式断裂(图 4-23)。

#### (四) 模拟分析

上述实验条件代表了不同的地质条件,首先含水球囊代表沙四段一孔店组塑性层,逐渐加力与逐渐加层代表了同沉积过程,因此实验与实际构造过程具有相似形与可比性。其中第一种情况为纯粹的底辟构造过程;第二种情况为底辟与平面有限伸展过程,底辟作用占较大比



图 4-22 单向无限伸展(侧向固定)模拟——顶面出现短轴方向裂 42 缝

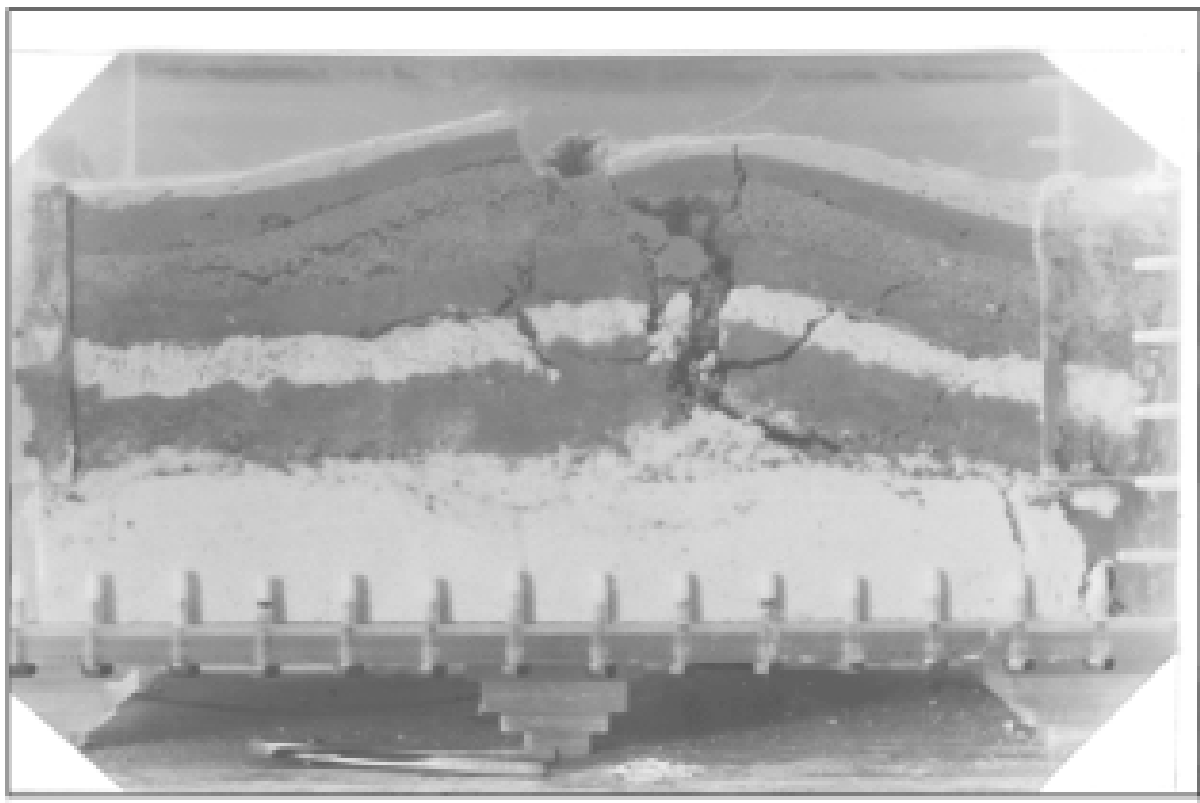


图 4-23 单向无限伸展(侧向固定)模拟——侧面模拟示意图主裂缝

重;第三种情况为底辟与侧向伸展过程,是底辟与断裂重力滑动滚动作用的联合。从实验结果与构造图、地震剖面图对比来看,单向无限伸长模拟中的侧向固定模拟更符合实际,由此看出本区是底辟与伸展滚动联合的结果。单向无限伸长模拟中的侧向无固定模拟是一种四面伸展的现象,故与实际情况不符。

#### 第四节 中央隆起带构造发育史分析

从辛镇地区 366 测线和 254 测线构造剖面发育史图(图 4-24,图 4-25)来看,其发育过

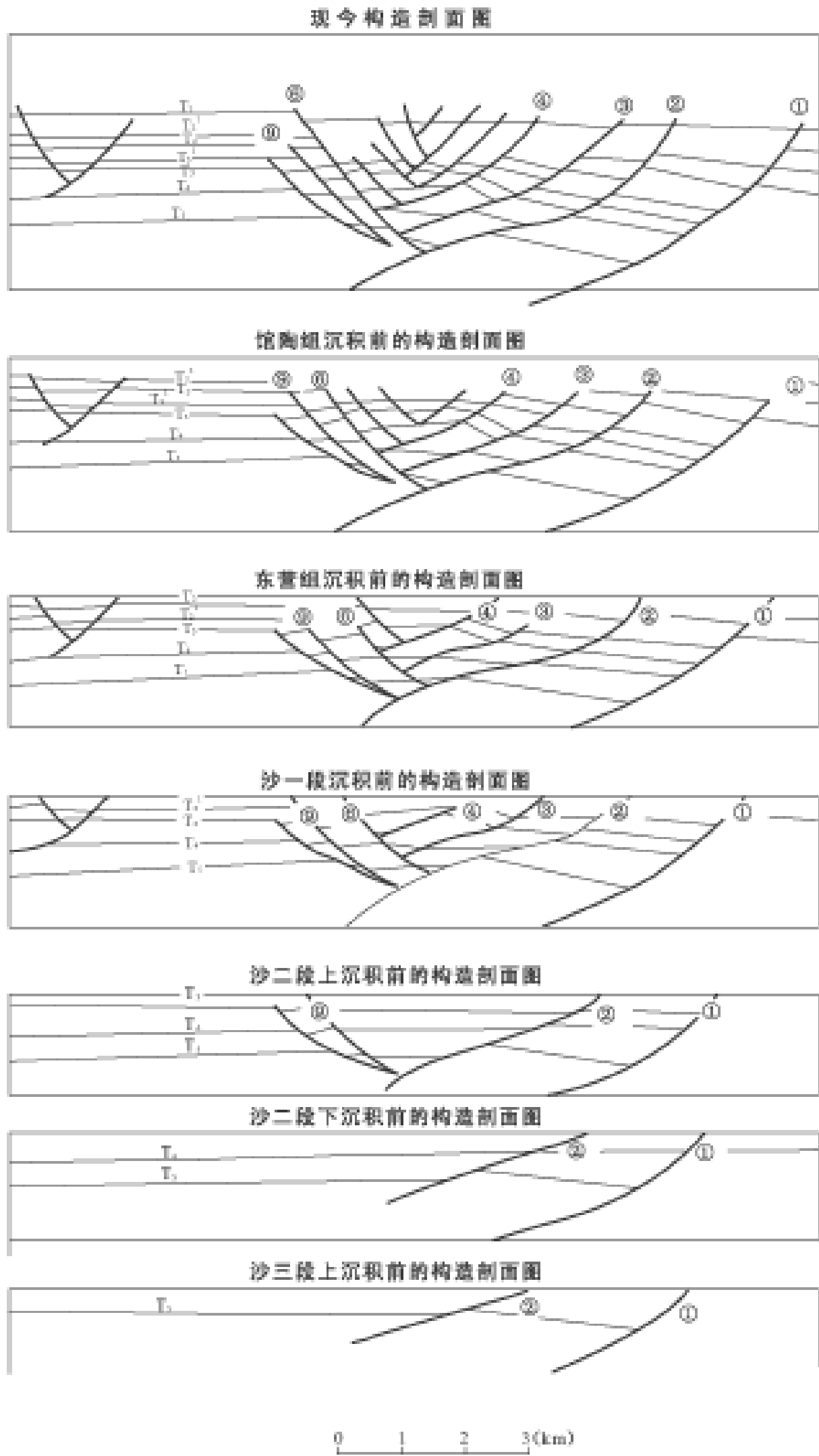


图 4-24 辛镇地区南北向 366 测线构造发育剖面

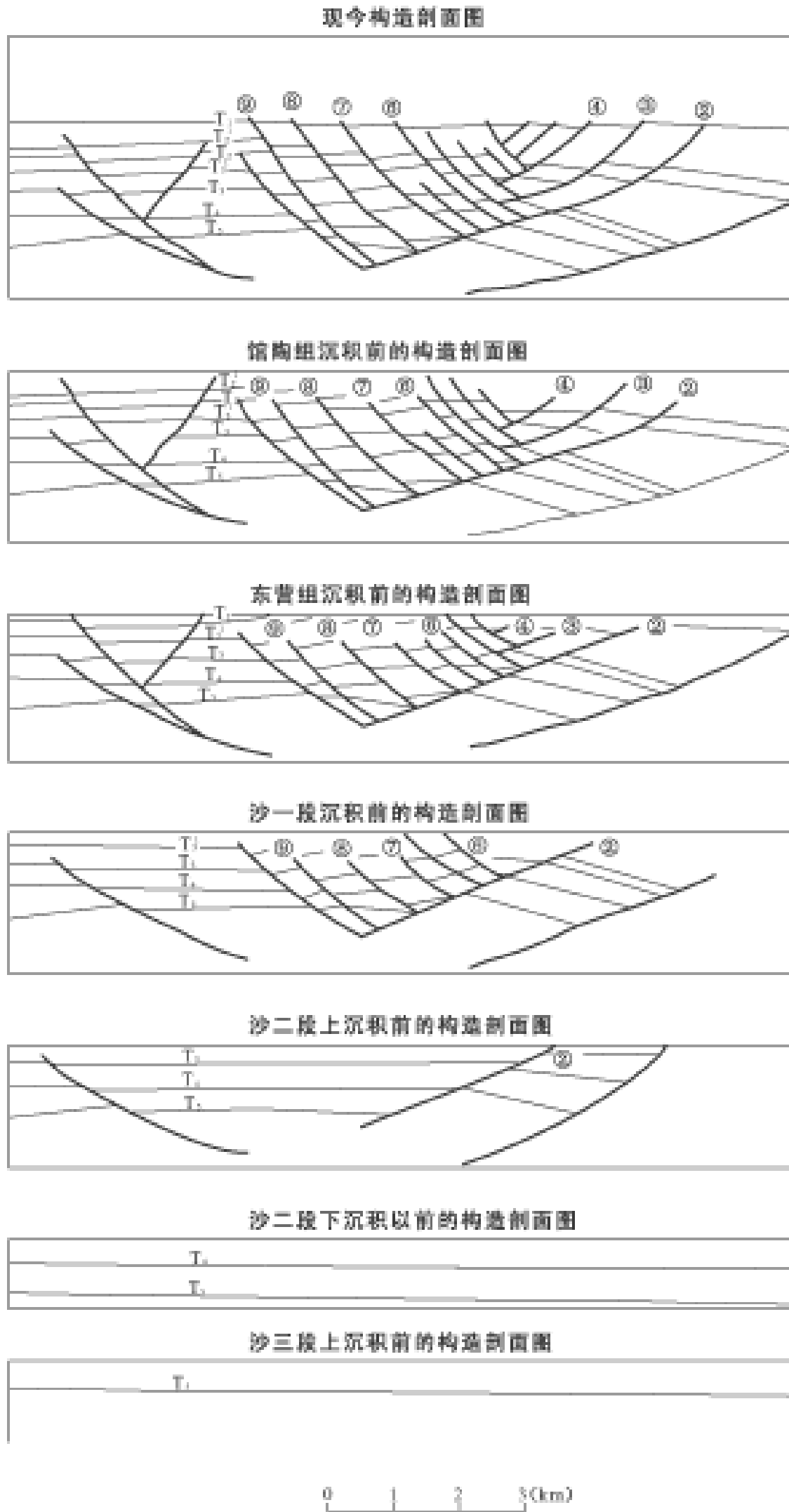


图 4-25 辛镇地区南北向 254 测线构造发育

程可分为三个阶段:即雏型阶段、定型阶段、完型阶段。

雏型阶段:从图 4-24 可以看出,沙三段上的地层开始沉积前,营 8 和 号主断裂已经产生,到沙二上地层沉积前,产生两条反向断层,断层数量增加,此时 号主断层最大落差近 200m,水平断距 225m;并且从构造幅度上看,此时本地区地层出现一个幅度很小的背斜。从图 4-25 可以看出,也是在沙二段上的地层沉积前断裂开始增加,地层表现出低缓的背斜形态。由此可以认为辛镇构造在沙二上地层沉积以前就有了雏形。

定型阶段:到沙一段上开始沉积时,由于沉积速度加快,负载层的厚度进一步增大,加之有盐岩和石膏作用层,阻碍着沙四段泥岩压实成岩,从而形成了具有高异常流体压力的塑性泥岩层,塑性层继续上拱,形成一系列断裂。从 366 和 254 测线构造发育史图上看,沙二段上沉积过程中,断层数量明显增加, 、 、 、 号断层产生,东营组地层沉积期间,断层数量产生最多,多为一些小断层,断层数量达 15 条之多。

从沙二段到东营组,随着上覆地层不断沉积,断层断距逐渐加大,数量增多,构造幅度也逐渐增大。“包心式”地堑愈向中心断层时代愈新。直到明化镇组沉积前,构造基本定型。

完型阶段:随着塑性层的继续上拱,断裂继续产生。到明化镇组沉积末,辛镇构造已经具有了完整的形态,构造形态完全定型。明化镇组沉积以后 号断层仍有活动。

根据上述构造形态、厚度变化和构造发育史分析,可以认为辛镇构造实质上是一个具有主断层下降盘逆牵引性质的背斜构造。由于顶部塌陷而为“包心式”地堑所复杂化。

结合主干断层滑脱特征及其断裂系统发育过程,推测其成因是由于深部厚岩层的塑性流动、上拱,一方面促使主断层发育,在下降盘造成逆牵引,另一方面,岩脊在构造轴部的上拱,加剧了构造的隆起幅度,并造成顶部塌陷,形成“包心式”地堑断裂系。

在中央隆起带的发育过程中,区域应力场的不断转变以及膏、泥岩的塑性上拱始终扮演着重要角色,同时由于时空的差异性,使得研究区的构造演化极为复杂,很难用单一的机制或一种简单的模式来解释。总体来说其演化经历了沙四段雏形期、沙三段和沙二段为主要发育期以及东营组时期为最后定型期三个阶段,终成现今之面貌。

# 第五章 中央隆起带油气运移特征

中央隆起带的构造活动必然伴随流体的活动,隆起带的构造和流体构成了一个有机的反馈系统。因为隆起带下部有盐的存在,流体活动才更具特色。隆起带的构造发育,为流体活动和油气运移提供了丰富而高效的运移通道。断层可作为油气的通道,也可作为油气的遮挡面,因此断层是一个具有开启和封闭双重性的矛盾统一体,断层与油气的运移关系密切。通过断层封堵性研究及其相关的流体活动研究,可更好地认识中央隆起带的流体活动及油气的运聚规律,为该带的油气勘探提供重要的依据。

## 第一节 中央隆起带油气运移背景场分析

流体作为油气运移的载体,对油气的运聚起着关键的作用,因而盆地流体分析成为油气勘探研究的重要手段。在对流体动力系统划分中,尽管考虑了许多因素,但压力是最直接的划分参数。康永尚等(1999,1997,1998)认为,地层压力及由地层压力换算的流体势反映了盆地内的流体动力结构,是油气成藏流体动力学研究的依据。同时,地温场和地下流体化学场的分布同样为油气成藏流体动力学研究提供宝贵的信息。

### 一、流体压力场特征

大量的油气勘探与开发实践充分表明,压力是油气排出、运移和聚集的前提与基础,且与油气生成、保存及成岩-成矿流体的联系十分密切。流体压力系统的研究是盆地流体历史分析以及油气成藏动力学研究的重要内容。关于东营凹陷的流体压力,已有不少学者从不同的角度进行了研究。目前在地层压力的研究和预测中主要是利用实测地层压力(DST、RFT、FMT等)、声波测井和地震层速度资料。

(1) 单井压力剖面上,在正常压力趋势线及其附近的点为正常压力,往正常压力趋势线右上方偏离为高压,往正常压力趋势线左下方偏离为低压。东营凹陷地层压力的纵向分布特征据试油、测井资料分析,可按其形成机制在纵向上划分为三带:即浅部的静水压力带(相当于正常压实带),中部的压力过渡带(相当于混合压实带)以及深部的高异常地层压力带(即欠压实带)(图5-1)。静水压力带大致

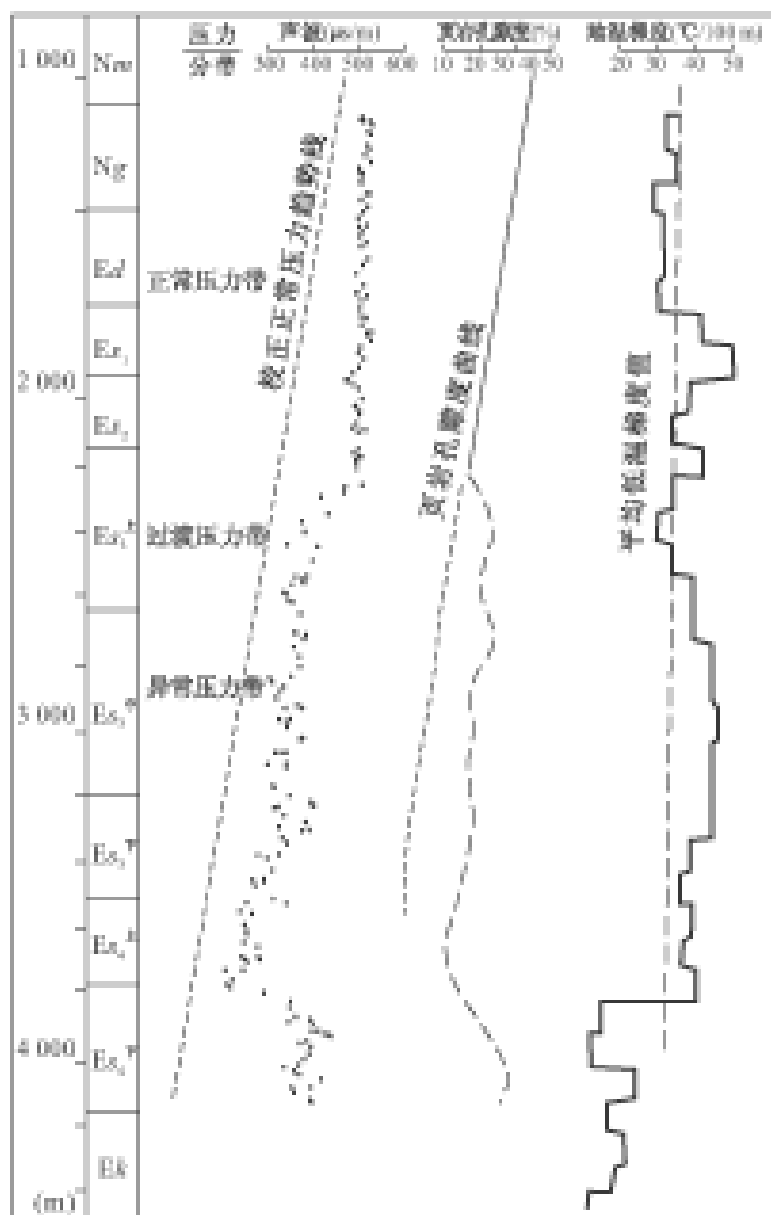


图 5-1 东营凹陷东风 2 井异常高压带特征图

分布在 2 200m 井深以内,其储层流体压力等于静水压力。过渡带在 2 200 ~ 2 600m 之间,本带的地层流体压力由正常静水压力与高异常地层压力两部分组成,地层压力系数大于 1.9,属于两种压实状态并存的混合带。异常高压带埋深大于 2 600m,这时地层压力大于其相应深度的静水压力。

压力剖面上,在正常压力趋势线及其附近的点为正常压力,往正常压力趋势线右上方偏离为高压,往正常压力趋势线左下方偏离为低压。如图 5-2 所示,沙二段地层压力除少数点外,都落在正常压力趋势线及其附近。沙三、沙四段地层压力,埋深在 2 200m 以上的基本落在正常压力趋势线附近,为正常压力;而埋深在 2 200m 以下的则偏向正常压力趋势线的右上方,为高压。

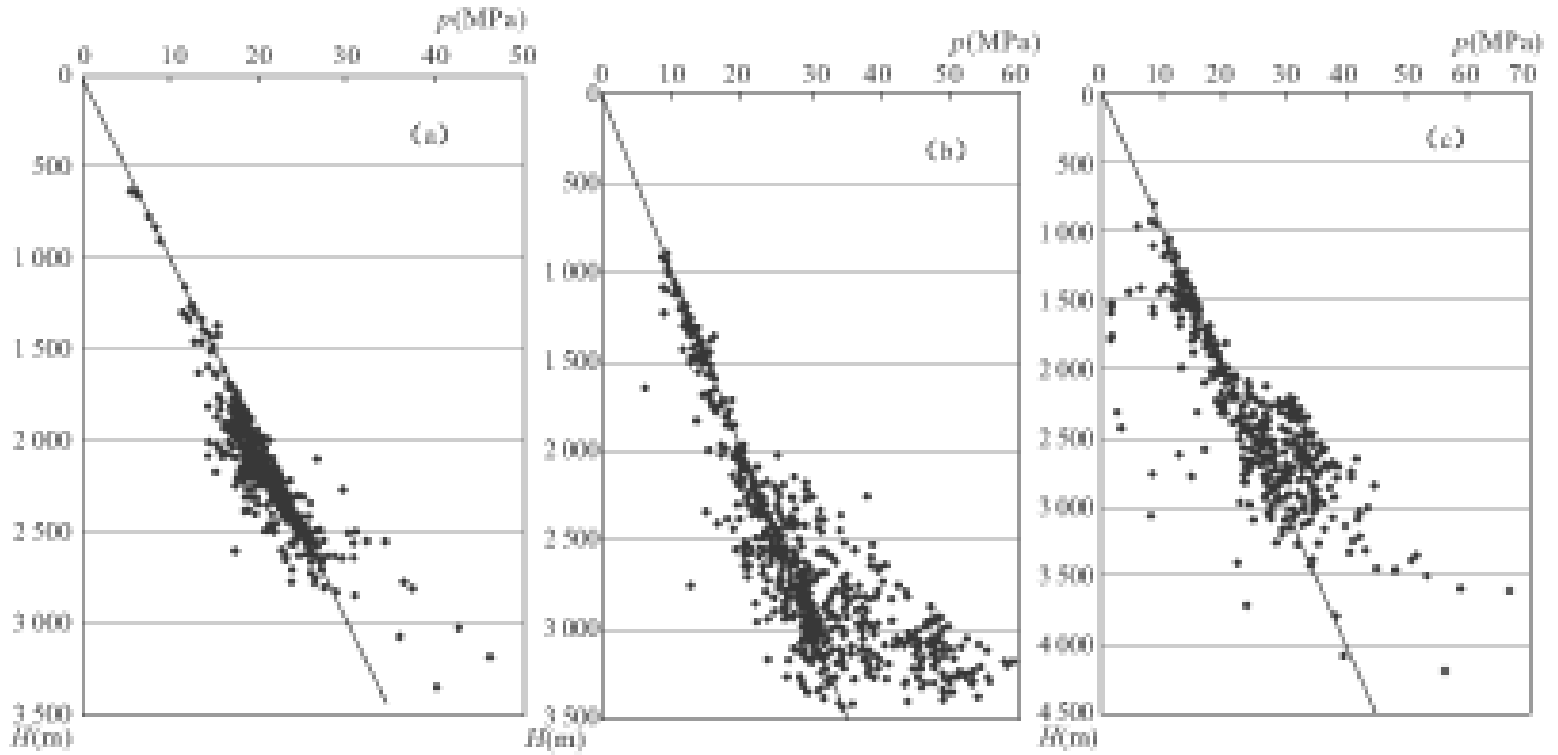


图 5-2 东营凹陷沙河街组二段 - 沙四段地层压力-深度关系曲线

(a) 沙河街组二段; (b) 沙河街组三段; (c) 沙河街组四段

(2) 平面压力系统结构分析。本文利用了试油实测压力资料编制了沙三段下、中亚段的压力系数平面等值线图(图 5-3 和图 5-4)。

图 5-3 显示沙三下的压力系统平面上呈环带状分布,与断层的分布相吻合。内环超高压系统( $p > 1.4$ )分布在利津洼陷东北和牛庄洼陷,中央隆起带的断裂只分割了  $p > 1.6$  的超压,因此断裂带基本上是封闭超压的;中环高压系统(过渡带,  $1.1 < p < 1.4$ )分布在盆地边缘内侧,范围较广。外环为常压-低压系统( $p < 1.0$ ),分布在盆地边缘外侧。由于低压很局限,故未在图中表示。

沙三中的压力系统虽然也呈现了环带状的分布(图 5-4),但相比沙三下压力系统结构发生了较大变化。与盐-泥构造相关的中央隆起带断层对压力系统产生了深刻的影响,强烈分隔了超高压系统。南部的河 68、梁 11、河 125 滑脱断层分割了牛庄和利津洼陷的超高压系统,中央隆起带分割了利津洼陷的超压系统,使之成为两个超压中心。此时东营构造和辛镇构造的超压释放强烈。

超压在凹陷内部具普遍性,各构造单元的超压顶界面略有差异。在洼陷区,以利津洼陷和牛庄洼陷为例,它们的超压顶界面为 2 500.0m,超压顶界面之下存在压力释放。在中央隆起带,盐-泥构造发育区,如郝家和东营构造的超压顶界面为 2 700.0m 左右,压力释放普遍。凹陷北部陡坡带胜坨地区虽靠近北部断层,但超压也很发育,超压顶界面为 2 700.0m。此外,在凹陷西北部的滨南地区以正常压力为主。

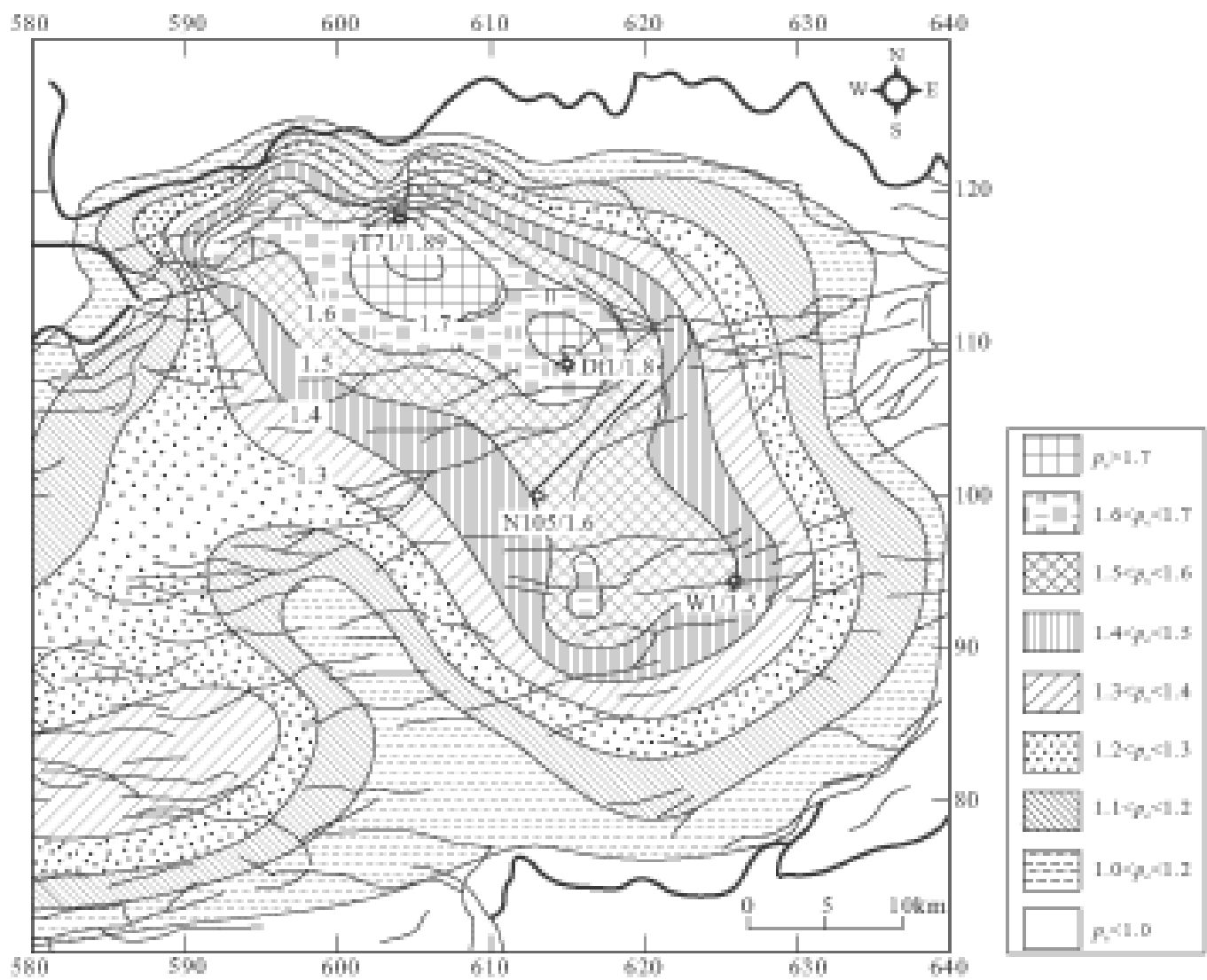


图 5-3 东营凹陷中央隆起带沙三下亚段压力系数等值线平面图

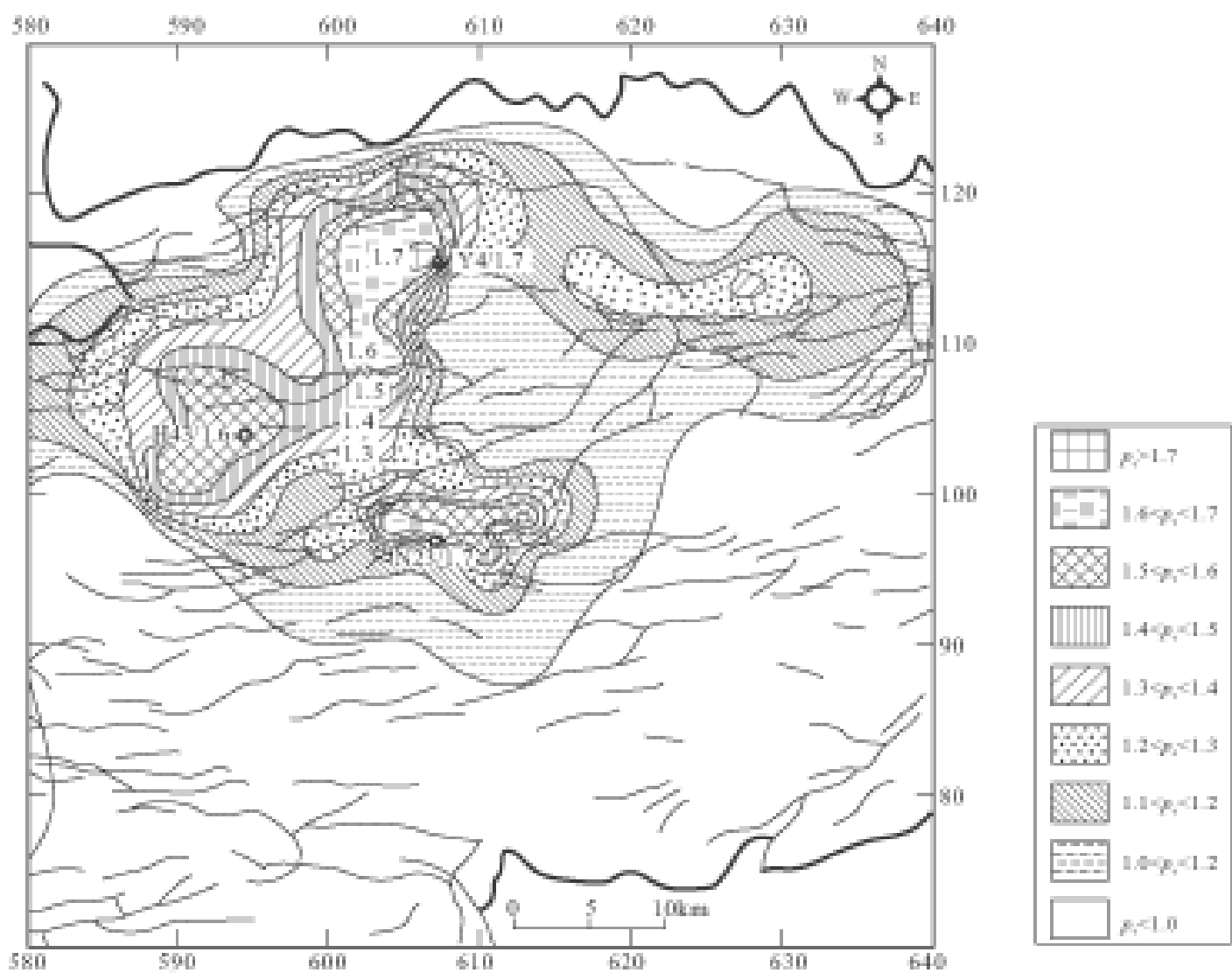


图 5-4 东营凹陷中央隆起带沙三中亚段压力系数等值线平面图

## 二、超压与油气聚集关系

超压可以通过在三维空间流动的流体来传递是非常重要的。超压传递是超压流体流动的结果,了解超压传递就是了解超压流体的流动。超压流体的流动改变了盆地局部的水动力条件,有可能更有利于油气的运移和聚集,甚至导致油气的二次成藏。超压传递的概念不仅使我们加深了对盆地流体压力历史细节的研究,而且具有传导超压的油气藏的存在,也为我们提供了有益的勘探思路。

具有超压的沙三中、下亚段和沙四段,其高压区平面上分布在凹陷的内侧。高压区以上的沙三上亚段、沙二段、东营组以及高压区的外侧缘,均为正常压力分布区。高压带内的沙三中、下亚段、沙四段生油岩,在第二次成油期全部进入成熟生油高峰阶段。由于油气的初次运移总是从高压生油母质,向低压储层内运移,而沙三上亚段和沙二段是距高压层垂向距离最小的储层,它们必然成为高压成熟生油母岩内油气初次运移的目标区。在此地区,构造和地层圈闭就成为决定油气成藏的关键因素。而高压区外侧,即凹陷边缘地带,是高压区成熟生油岩生成的油气侧向运移目标区,成为凹陷边缘斜坡地带的油气聚集分布区。凹陷内地层压力和水动力特点是油气藏在平面上以生油洼陷为中心,多环状分布的内在原因。

东营凹陷高压-超高压系统主要位于其成熟烃源岩内,是一个盆地级的巨型高压封隔复合体,可看成在三维空间上完全封堵的封存箱,其间由于断裂导致高压流体封存箱分隔。高压流体封存箱的存在具有重要的石油地质意义,它使封存箱顶部封盖层之上和之下的储层成藏模式有根本差别。从成藏动力系统来说,它们的不同之处在于,前者主要以浮力为油气驱动力,油气沿断裂、不整合面或储集岩向上运移并在圈闭中富集成藏;后者则主要是压实和欠压实作用下产生的地层压力差驱动油气由高势区向低势区运移并富集成藏。前者属于开放型成藏动力系统,后者属于封闭型成藏动力系统。

中央隆起带主要的油气聚集均发生在异常地层流体压力囊的顶部、侧翼,而且油气藏在纵向上沿断裂分布(图 5-5),这些特征说明:在东营凹陷也存在流体压裂和幕式排烃的现象。生烃、蒙脱石向伊利石转化使压力封存箱内的压力增高,接近或达到上覆岩层的破裂压力时,

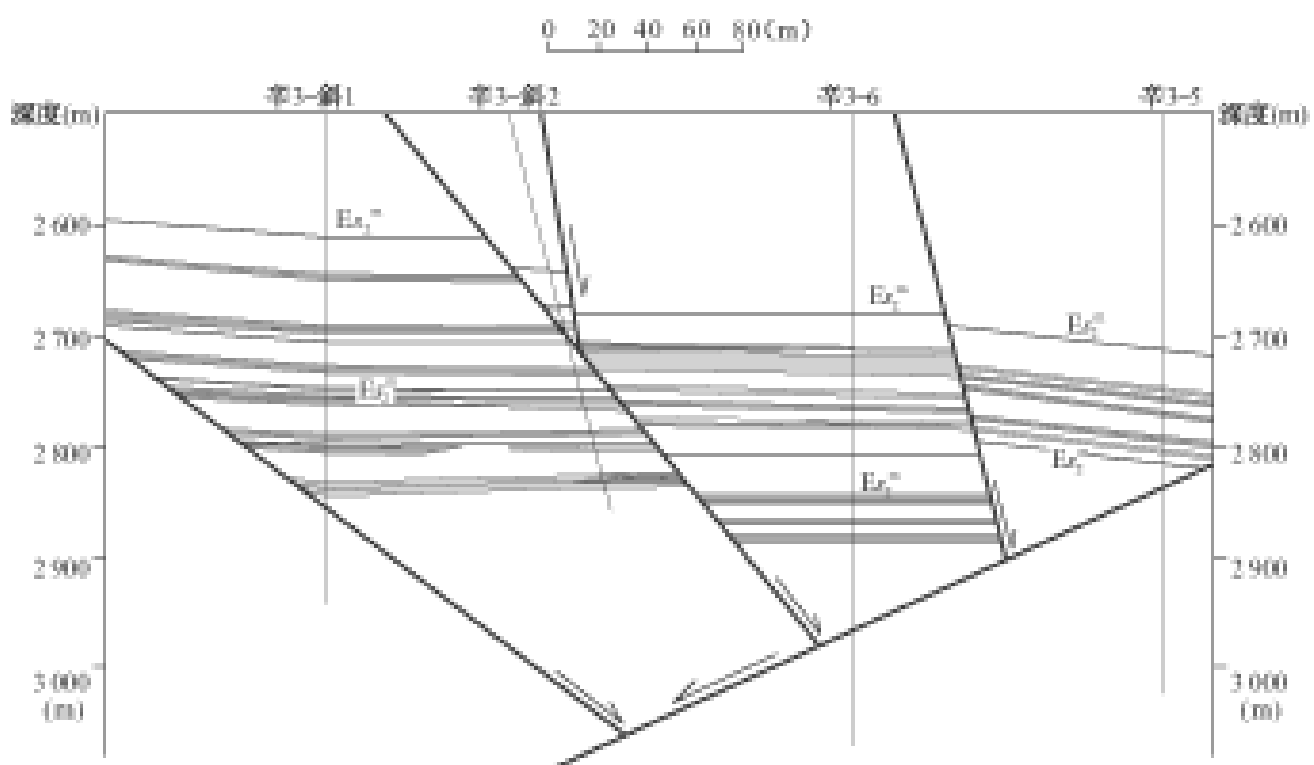


图 5-5 中央隆起带辛 3-斜 1 井-辛 3-5 井油藏剖面

就会产生流体压裂使油气从压裂隙和断层向外排放。当油气排放使压力封存箱的压力减小到小于上覆岩层的破裂压力时,封存箱封盖层就会愈合,封存箱会再度开始增压,从而为下一次流体压裂和幕式排烃聚集能量。这种排烃机理能使东营凹陷沙三、沙四上亚段的油气都排放出来,从而提高了该凹陷油气排放和聚集的潜能。

### 三、流体盐度特征

在油气生成、运移聚集及后期保存过程中,都有地层水的参与。因此,地层水的性质及其变化往往反映油气的聚集、保存条件。含盐流体,特别是高盐度的流体,是含盐盆地中别具特色的流体类型,对盆地流体活动和油气运移产生了深刻影响。在研究中央隆起带的盆地流体活动时,应考虑流体盐度的空间变化。

盐度分布纵向特征:中央隆起带地层水矿化度高,变化范围较大,在纵向上,随埋深增大,地层水矿化度有规律增大,2 000m 以下增大速率较快,说明深部主要受原始沉积水介质控制,缺乏地表水源补给,浓缩程度高,一般大于 30 g/L,最高可达 350 g/L。

下第三系一般大于 10g/L,绝大多数为 10~200g/L。上第三系较低,小于 10g/L。各含油层系地层水矿化度与 Cl<sup>-</sup> 含量不同。总体上,深部层系水较重,而浅部层系较轻。盐度随深度的变化呈现出两种趋势(图 5-6):一是随深度的变化盐度在海水盐度(平均 35g/L)范围内保持不变或略有所增加;二是随深度的递增盐度明显增加并在某一深度范围内形成最大盐度,分布区,之后略有减小。这种分布趋势可能与含盐流体的成因和后期演化有关。

盐度分布平面特征:本文分别绘制了沙四上、沙三下、中、上,沙二段各地层单元的盐度平面分布图(图 5-7~图 5-11)。沙四上普遍发育含盐流体。高盐度流体( $TDS > 100g/L$ )主要分布在北部利津断裂带、胜北断裂带以及滨南断裂带南部的断裂带;中央隆起带,即盐-泥枕相关的断裂带,包括梁家楼、史南-现河庄及辛镇构造带;南部陈官庄-王家岗断裂带。此外石村断裂带附近的流体盐度大于 70g/L。环绕这些高盐度流体聚集区,流体盐度逐渐降低。

与之相比,沙三下的高盐度流体的分布很局限,北部胜北断裂带依然发育高盐度流体,利津断裂带已不发育,滨南断裂带开始出现高盐度流体。在中央隆起带,高盐度流体只集中在东营构造和辛镇构造的交汇部位;南部斜坡带,陈官庄-王家岗断裂带依然发育高盐度流体,石村断裂带附近的流体盐度也保持在大于 70g/L。

沙三中盐度分布的格局有新的变化。高盐度流体主要集中发育在凹陷东半部,中央隆起带的史南-现河庄构造、东营构造和辛镇构造依然发育高盐度流体,值得注意的是此时盐-泥核背斜的拱顶断层簇已开始发育高盐度流体。北部仅胜北断裂带发育高盐度流体,南部高盐度流体发育在陈官庄-王家岗断裂带东段。

沙三上高盐度流体明显收缩,仅局限在东营和辛镇构造带,其他地区盐度普遍为中等。

沙二段相比沙三上,高盐度流体的分布略有扩展,但总体上分布范围依然很小。中央隆起带的东营构造和辛镇构造以及盐-泥核背斜顶部拱顶断层簇依然是发育高盐度流体的地区,史南-现河庄构造的盐度有所提高,滨县凸起发育高盐度流体。

沙一段、东营组和馆陶组普遍为低盐度流体分布区,很零星地发育中盐度流体。

总之,中央隆起带始终是高盐度流体的聚集区,沙四上高盐度流体分布于全隆起带,沙四以上的地层单元主要集中在东营构造、辛镇构造和史南-现河庄构造(沙三下和沙三上不发育)。在北部陡坡带,胜北断裂带始终是高盐度流体发育区,利津断裂带只在沙四上发育高盐度流体,滨南断裂带的高盐度流体主要发育于沙四上、沙三下和沙二段。

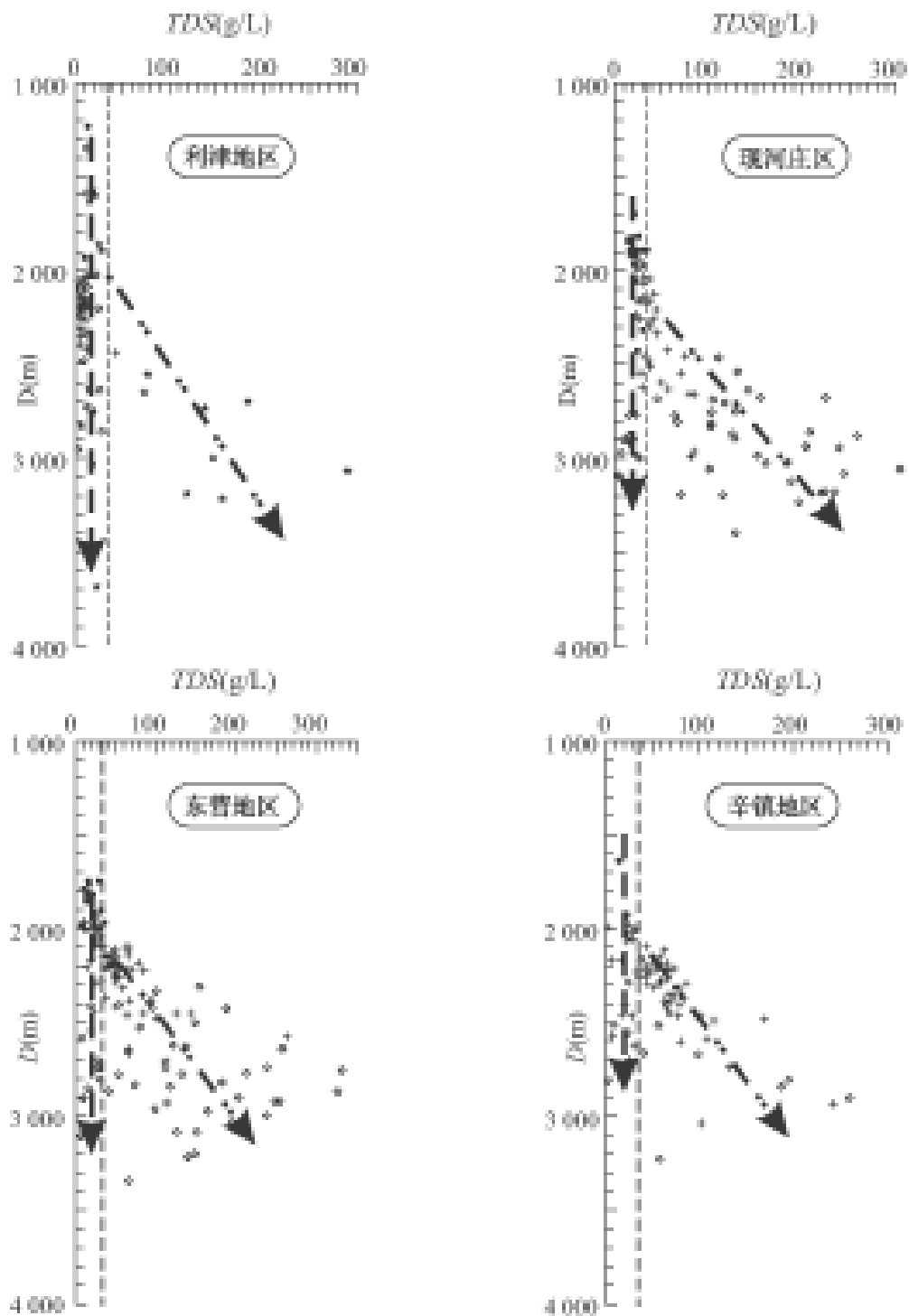


图 5-6 中央隆起带不同地区含盐流体盐度随深度变化图  
(据刘晓峰, 2003)

在平面上,封闭性好的断块区地层水矿化度高;高断块区较低。但也有一些断块区在较浅部位出现了与其埋藏深度不相匹配的高矿化度地层水,主要分布于沙二段层系中。推测这部分高矿化度地层水是由深部沙四、沙三段高压卤水层的高矿化度水,通过断层向上运移的结果。进一步证明了研究区断层活动贯穿于油气运移和聚集的始终,是东营组次生油藏形成的重要前提。上第三系未发现高矿化度地层水,说明深部地层水在晚第三系以后未能大规模地向浅层运移。

从各地层单元的盐度分布来看,沙三段及以上地层中的高盐度流体均分布在断裂带处,这暗示了高盐度流体很可能是沿断裂上升的。

沙三段下、中亚段主要沉积相为深湖-半深湖相,古盐度为 2.0‰~2.6‰,属于咸水湖。沙三上和沙二下主体沉积相为三角洲沉积,古盐度一般为 0.6‰~1.0‰,为淡水环境。沙二上以河流相为主,湖盆强烈收缩。沙一段以湖相沉积为主,早期水较咸,古盐度为 1.0‰~

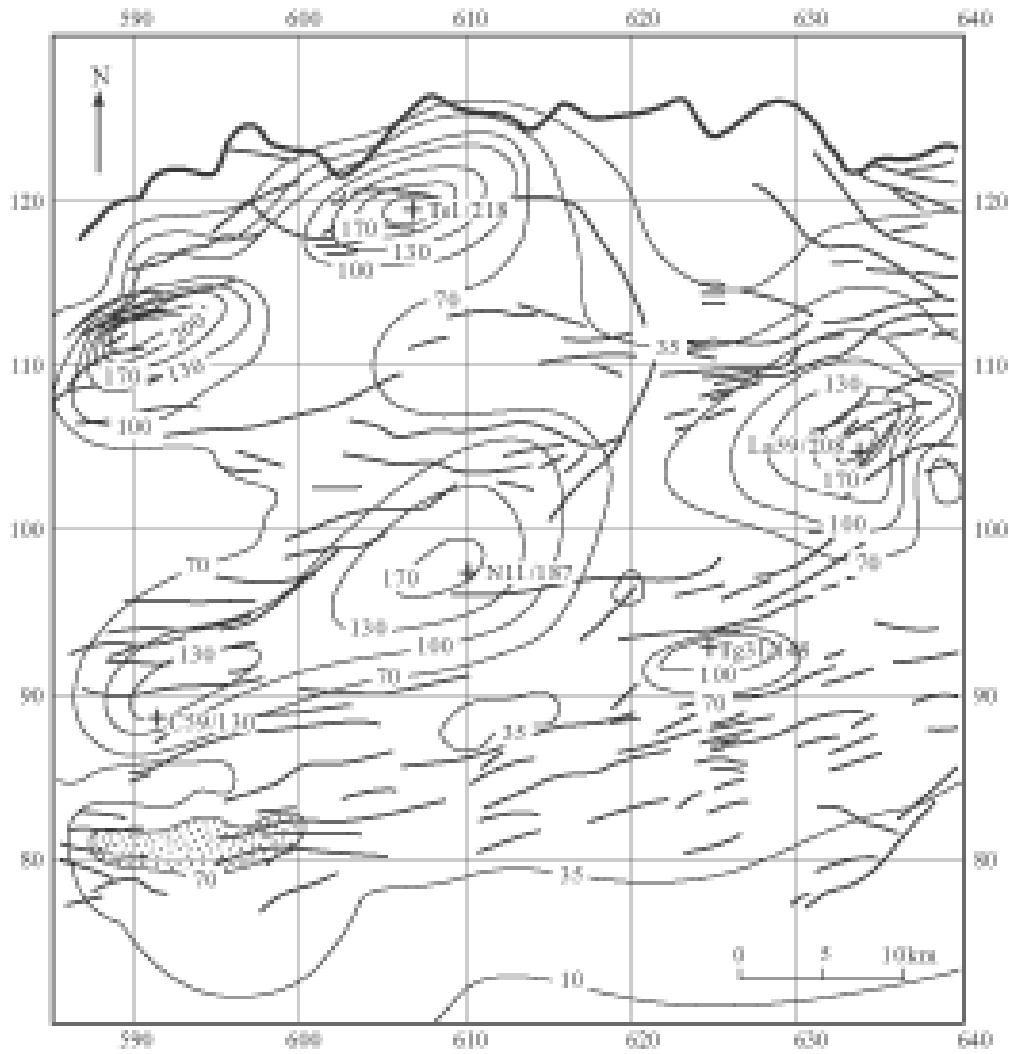


图 5-7 中央隆起带沙四上亚段流体盐度等值线图(盐度: g/L)  
(据刘晓峰, 2003, 改绘)

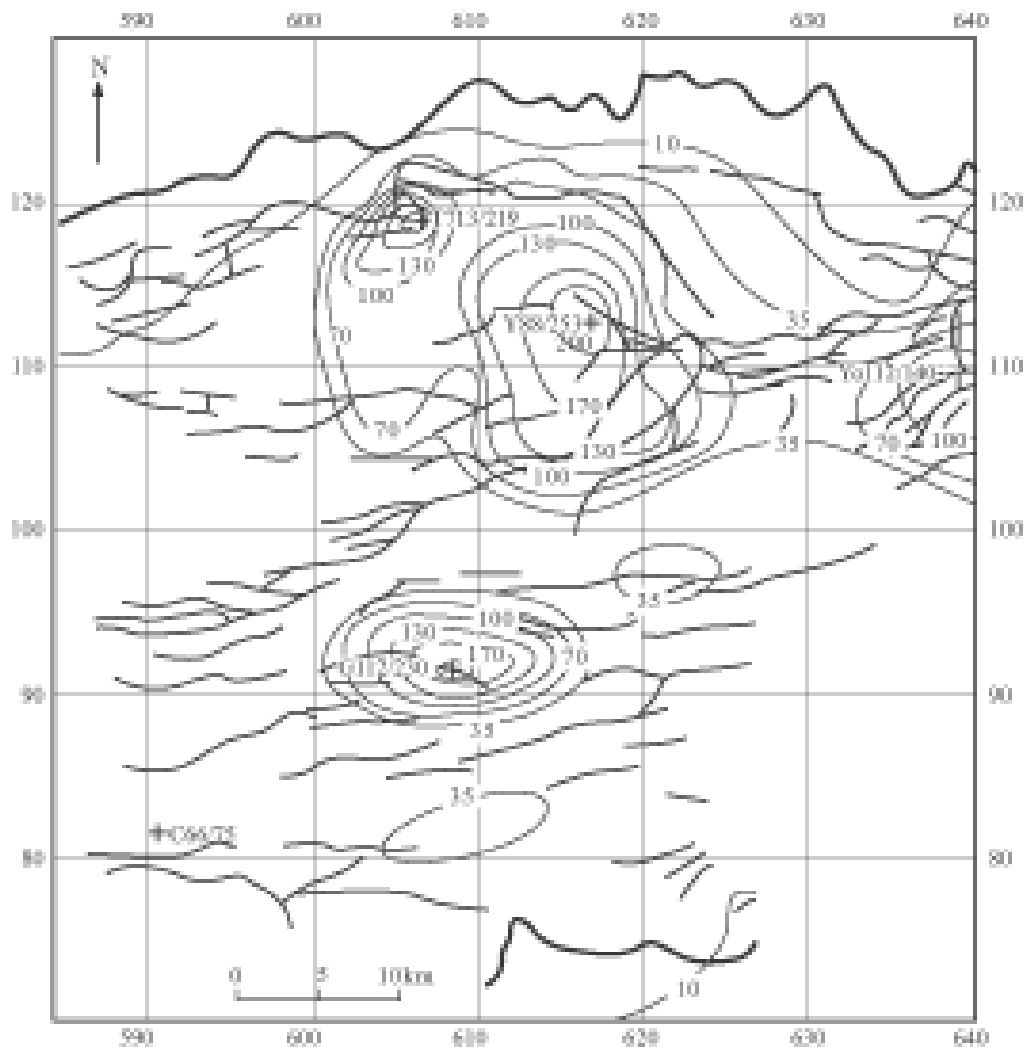


图 5-8 中央隆起带沙三下亚段流体盐度等值线图(盐度: g/L)  
(据刘晓峰, 2003, 改绘)

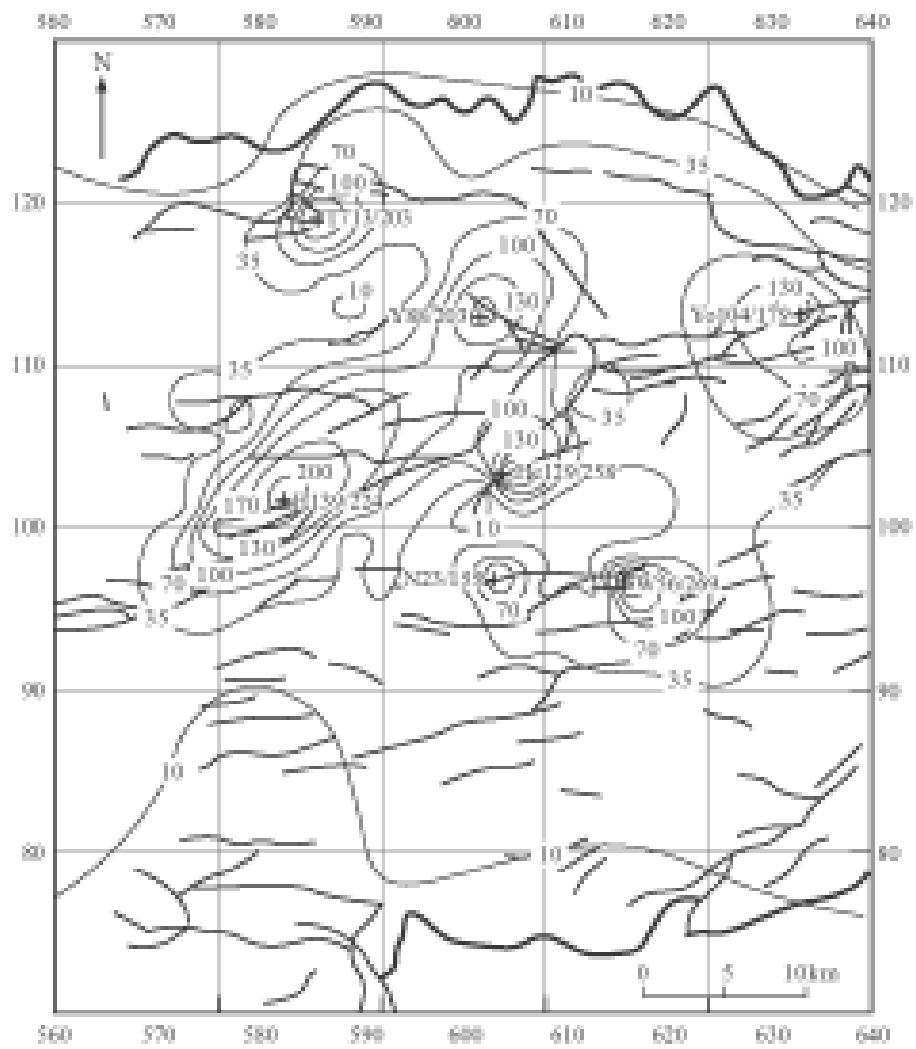


图 5-9 中央隆起带沙三中亚段流体盐度等值线图(盐度: g/L)  
(据刘晓峰, 2003, 改绘)

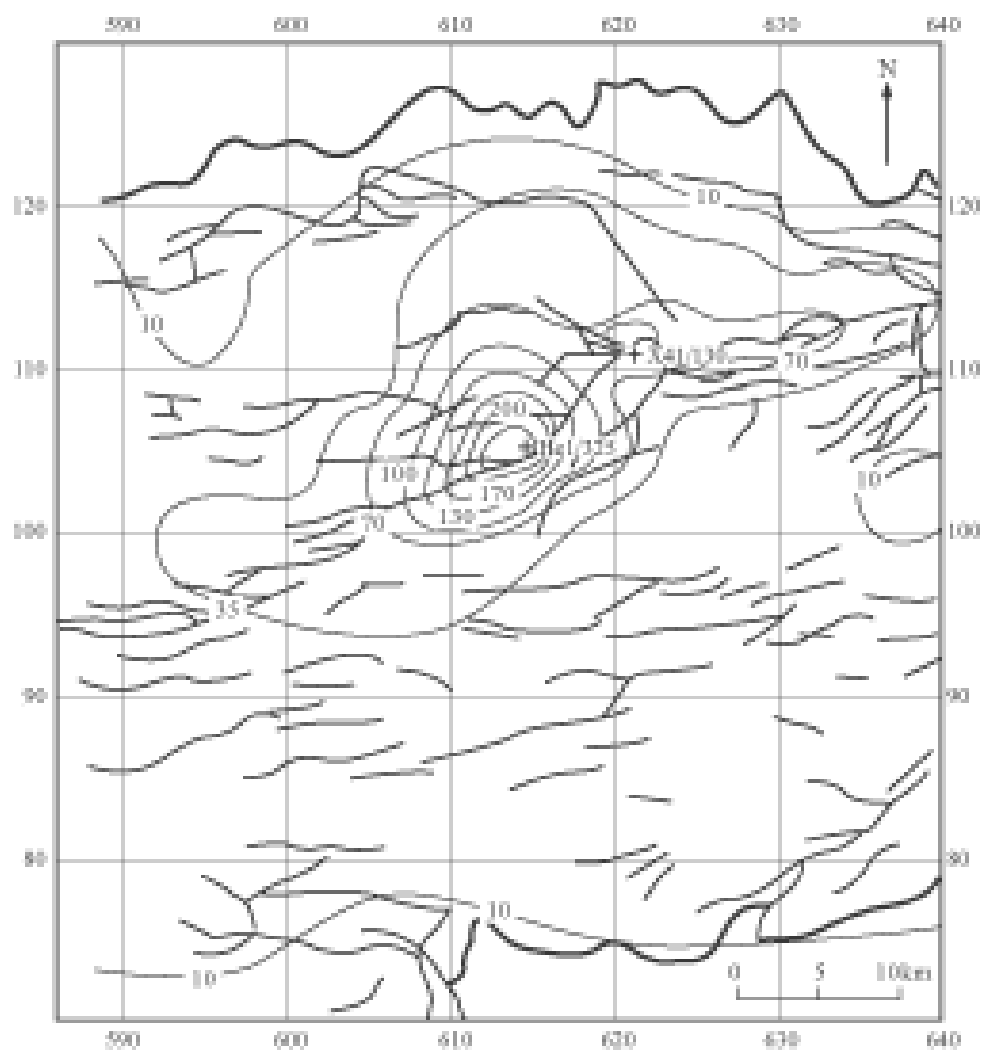


图 5-10 中央隆起带沙三上亚段流体盐度等值线图(盐度: g/L)  
(据刘晓峰, 2003, 改绘)

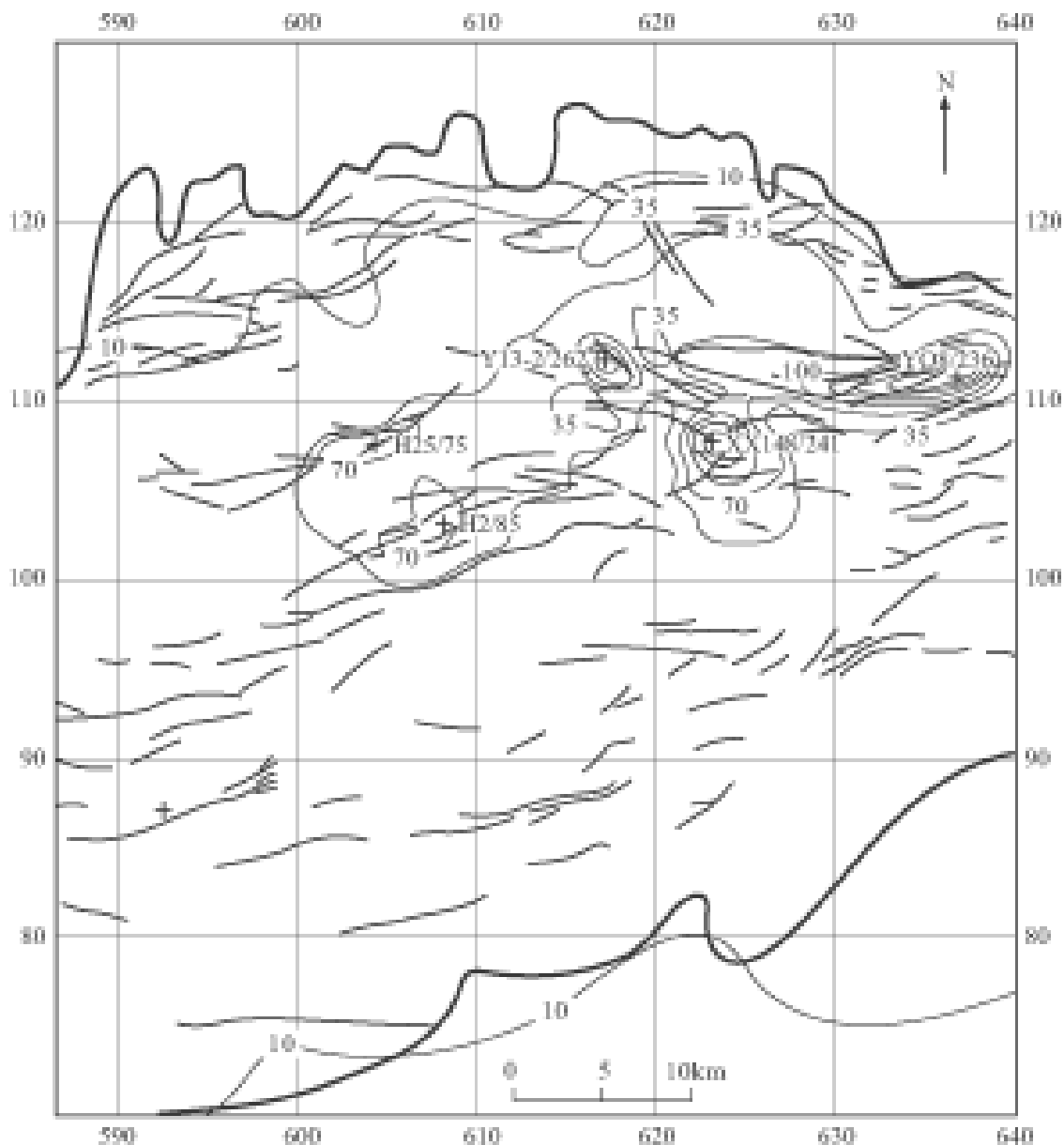


图 5-11 中央隆起带沙二段流体盐度等值线图(盐度:g/L)  
(据刘晓峰,2003,改绘)

1.5‰。尽管沙三上亚段及以上地层古盐度较低,并且以淡水环境的沉积相为主,但这些地层单元中依然存在高盐度流体。证明这些高盐度流体可能并非是原始水浓缩的结果。

#### 四、流体压力与盐度的关系

从中央隆起带各地层单元的压力分布与盐度分布来看,随着压力系数的增加,在中央隆起带的东营、东辛、现河等地区盐度明显增大,且压力系数增加到 1.3~1.4 附近,盐度也超过了 100.0g/L。反映存在超压的高盐度流体,具有注入到浅部储层的能量。这种流体会通过超压释放作用沿断层输导通道运移,当它注入到容纳空间小的或封闭的系统,会增加原地孔隙流体的压力和盐度,即超压传递,从而导致系统开放,再共同运移,这对油气的运移很有意义。

综合以上分析,凹陷内含盐流体来自于沙四下一孔一段盐类岩石的溶解。沙三段及其以上各地层单元的高盐度流体是下部高盐度流体沿断裂带运移和注入的结果。这种注入作用是与超压释放密切相关的,导致了高盐度流体沿断裂带分布的格局。

#### 五、地层温度场特征

众所周知,地温演化对含油气系统演化以及油气成藏动力学过程都起到了关键性作用。古地温的演化反映了古热流的变化,它不仅影响到烃源岩成熟史,而且还会影响到储层演化,根据实测地温数据,分区块计算出的中央隆起带的现今地温梯度值,今地温梯度等值线图(图

5-12)显示,东营凹陷普遍存在较高的地温梯度。揭示了东营凹陷温度场是一种典型的“叠加”温度场,凹陷内地温梯度变化主要受控于构造带的展布。沿主要断裂构造带地温梯度较高,如北陡坡断裂带地温梯度达 $3.4 \sim 3.8 / 100\text{m}$ ,南缓坡断裂构造带地温梯度高达 $3.8 \sim 3.2 / 100\text{m}$ ,凹陷中央隆起带中的东营构造、史南-现河庄构造处的地温梯度也大于 $2.8 / 100\text{m}$ ,此处是盐-泥层沉积的中心部位。它的高地温梯度可能与盐类岩层很好的导热性能有关。而在主要洼陷带地温梯度较低,如牛庄洼陷、民丰洼陷、利津洼陷地温梯度 $3.2 / 100\text{m}$ 。这就是说主要断裂构造带不仅控制了洼陷和隆起的展布,而且还控制了洼陷中部和深部的高温含烃热流体的运动路径。

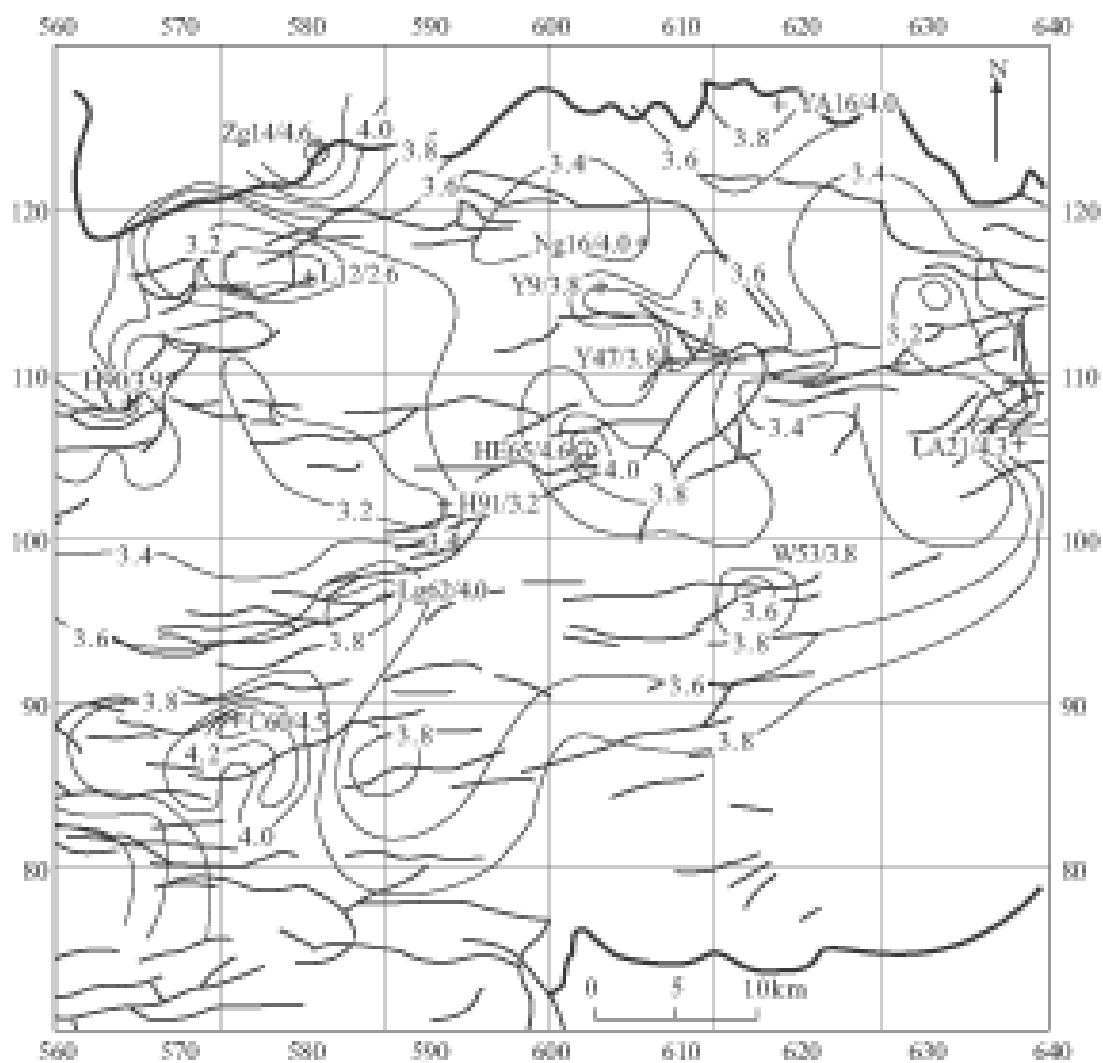


图 5-12 东营凹陷今地温梯度( / 100m)等值线图

## 第二节 中央隆起带断层在油气运聚中的作用

### 一、断层具开启或封闭的两重性

断层在某一段时间开启,导致油气的纵向运移,而在其封闭时,则会导致油气的聚集成藏,正是由于断层开启和封闭循环往复的过程,才会导致大的油田乃至油区的形成,可见断层对油气成藏之重要。长期以来,人们只意识到断裂带的构造意义,而忽视了它在流体活动中的作用,断裂带是流体的主要输导系统,流体活动又影响断裂带的断裂强度和地震活动。断裂呈周期性的开启和封闭,即幕式运动是构造应力与流体压力相互作用的结果(解习农等,1996)。

Dikinson(1953)和 Dickey 等(1968)提出生长断层会导致超压而不是释放超压的观点。Berg(1983)认为生长断层周围流体势的“降落”则又是生长断层释放超压的良好证据。Chap-

man(1981)等提出了生长断层既可能是流体运移的障碍,又可以是流体运移通道。Hooper(1991)提出流体流动沿生长断层呈间歇运动的假说,并指出间歇流体产生的机制包括:膨胀作用增大渗透率,矿化区的重新断裂,地震脉动冲击。间歇流学说比较令人信服地解释了这一矛盾:当断层活动时,渗透率及流体势增加,流体便可顺断层向上运动;当断层不活动时,渗透率降低,流体受阻。当今最新的研究成果认为,大的地壳断裂带如 San Andreas 断裂具有低的剪切强度,主要原因是断裂带中高流体压力的存在减少了有效正应力。因此,断裂带内流体变化对断裂作用机理具有很大的影响。

断裂带流体压力的周期性变化与断裂的破裂过程是相互联系和制约的,这种耦合机制可概括为断裂阀模型,Robert 等(1995)将这一模式划分为四个阶段,即地震前阶段、地震破裂阶段、紧邻破裂后阶段和断裂封闭阶段。这四个阶段记录了断裂带流体活动的轮回,同时也说明了断裂的开启和封闭是一个重复的过程。在这个过程中,流体压力是变化的,而流体压力的演化受控于地震轮回中孔隙生成和破坏的过程。Horath(1989)报道了微裂缝的产生会使渗透率增加 2~3 个数量级,对由剪切破裂产生的大裂缝也有同样大的影响。Cox(1995)详细研究 Wattle Gully 断裂带流体状态的成果表明:相对于较稳定流体供给速率来说,破裂后渗透率缓慢减少将导致流体压力的逐渐增加(图 5-13),当流体流动受孔隙连通性变差的影响时,流体压力将迅速增大,但最大流体压力受毗邻于断裂带的伸展水力破裂开启的限制。扩容作用以及伴生的断裂渗透率的增强和断裂封闭的重新开启将导致破裂期流动压力的突然下降。图 5-13 说明了在断裂阀模型中渗透率、流体压力及剪切强度随时间的变化规律。这种耦合变化阐明了断裂带渗透率和流体压力的幕式变化影响着断裂作用和地震活动的发生、发展和封闭,进一步影响了油气的运移和聚集。

那么决定断层活动的动因是什么呢?本人认为有两种情况:一是外力作用引起断层的活动而使断层开启;另一种是超压流体依靠自身的能量导通非渗透性的断层。无论何种动力的作用,当断层开启后,超压流体就会沿着断层面面向上运移,而导致原超压降低。图 5-14 所示中央隆起带中现河庄河 125 井断层下盘压力系数在深度 2 680~2 800m 之间有规律的降低,断层上盘为静水压力。这说明在同沉积期,生长断层是释放压力的,压实作用早期,流体通过断层排泄,随着压实作用的加强而逐渐封闭了流体,从而终止了断层的释压。

渤海湾盆地以断裂发育、油气藏类型丰富而著称,多年的勘探实践也证实了几乎所有的油气圈闭均与断层有关,而且越是断裂发育的构造带油气越富集,可见断层对油气的聚集作用之突出。

研究区的断裂活动贯穿于盆地发育的始终,只是自晚第三纪以来这种作用才趋于减弱,东营凹陷中央隆起带的生长断层都兼具有开启性和封闭性双重属性。同一时间内,一些断层是

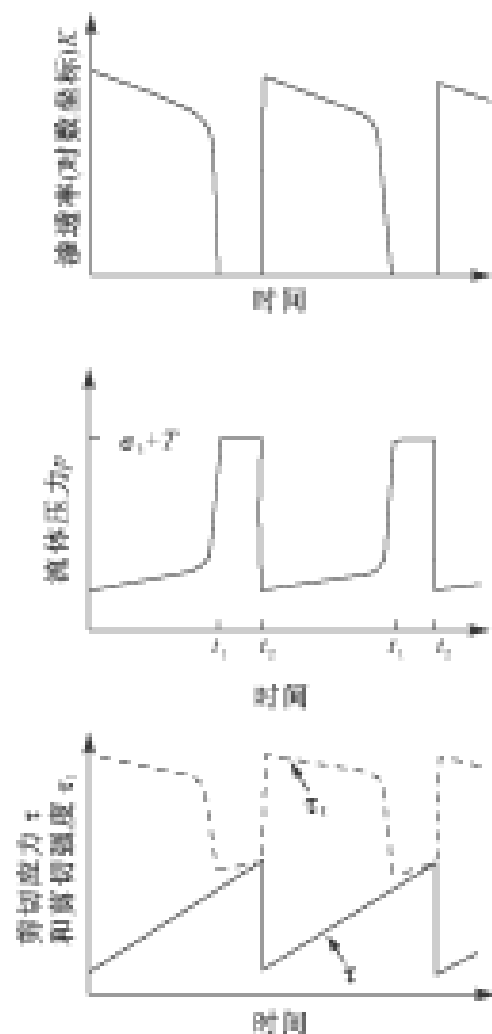


图 5-13 断裂阀模型中渗透率、流通压力和剪切强度随时间的变化  
(据 Cox, 1995)

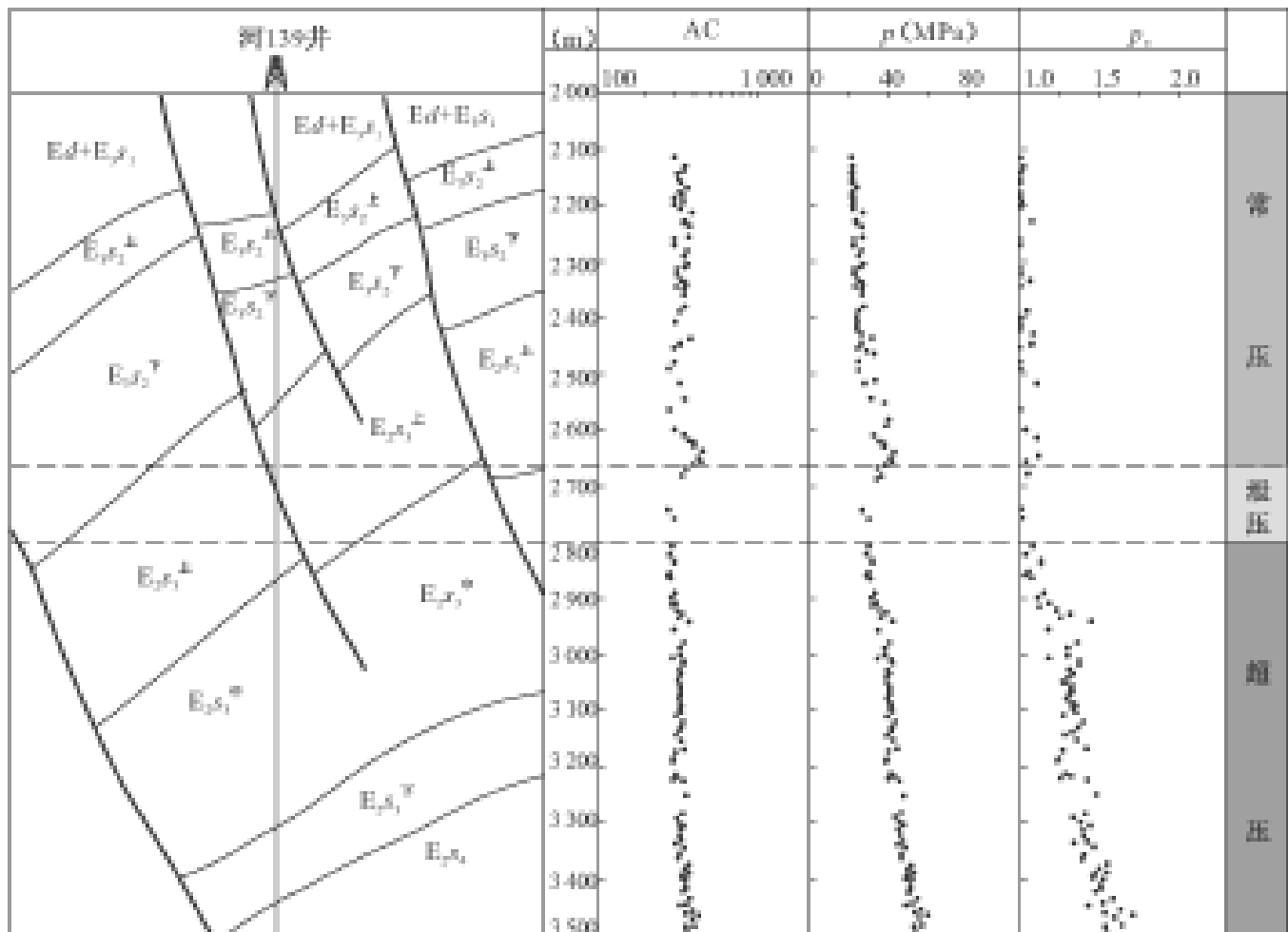


图 5 - 14 中央隆起带断裂系统与剖面压力结构关系

开启的,另一些断层是封闭的。同一断裂带,某些时期是开启的,某些时期是封闭的。对同一断层而言,上、下盘的开启性也有很大差异。应该注意的是,生长断裂的构造活动与其开启性并不是同一事件,有时二者可以一致,有时不一致。图 5 - 15 的压力和盐度数据的变化,显示了不同断层以及同一断层不同部位的封闭性和开启性。从剖面上可进一步了解这些变化。断层 F1、F2 是封闭压力的,Fb 在 2 500 0m 之下也是封闭的,这些断层封闭了强超压( $p_c$  为 1.67 ~ 1.89); F3 断层明显释放压力,压力系数骤减;向南进入洼陷中心,为强超压( $p_c$  达 1.79),盐度最低达 1.745 g/L,这证明没有经历较强的压力释放作用。F4 断层则明显释放压力,盐度 36 093 ~ 95 328 g/L,也反映了高盐度流体的流动; F5 一组断层在 3 000.0m 之下为超压,但相比井点 Ho7 处的压力系数小,反映其有一定的释压作用,属不完全释压。该断层组附近的盐度普遍很高,最高达 222.564 g/L,说明发生过高盐度流体的注入。Ho7 井显示,盐度高的点,压力系数也要高些,说明高盐度流体注入的增压效应。

事实表明,中央隆起带的断裂作为油气运移断层是主要的,作为封闭断层也是主要的,它们是一对矛盾的统一体。断层对油气的运聚作用是广泛的、强烈的、快速的,相对于断层对油气的封闭作用又是短暂的,否则,就不会看到东营凹陷盆地纵向上最深超过 5 000m,最浅 300 ~ 400m 的油气分布了。

## 二、控油断层封闭模式

断层圈闭的油气富集很大程度上受断层封闭性的控制(张煜等,2002)。中央隆起带的油藏类型主要为断层油藏和断层一岩性油藏,目前查明全油田共有大小断层两百多条,因此断层封闭性研究对于揭示这个地区的油气富集规律以及下一步的勘探方向意义重大。

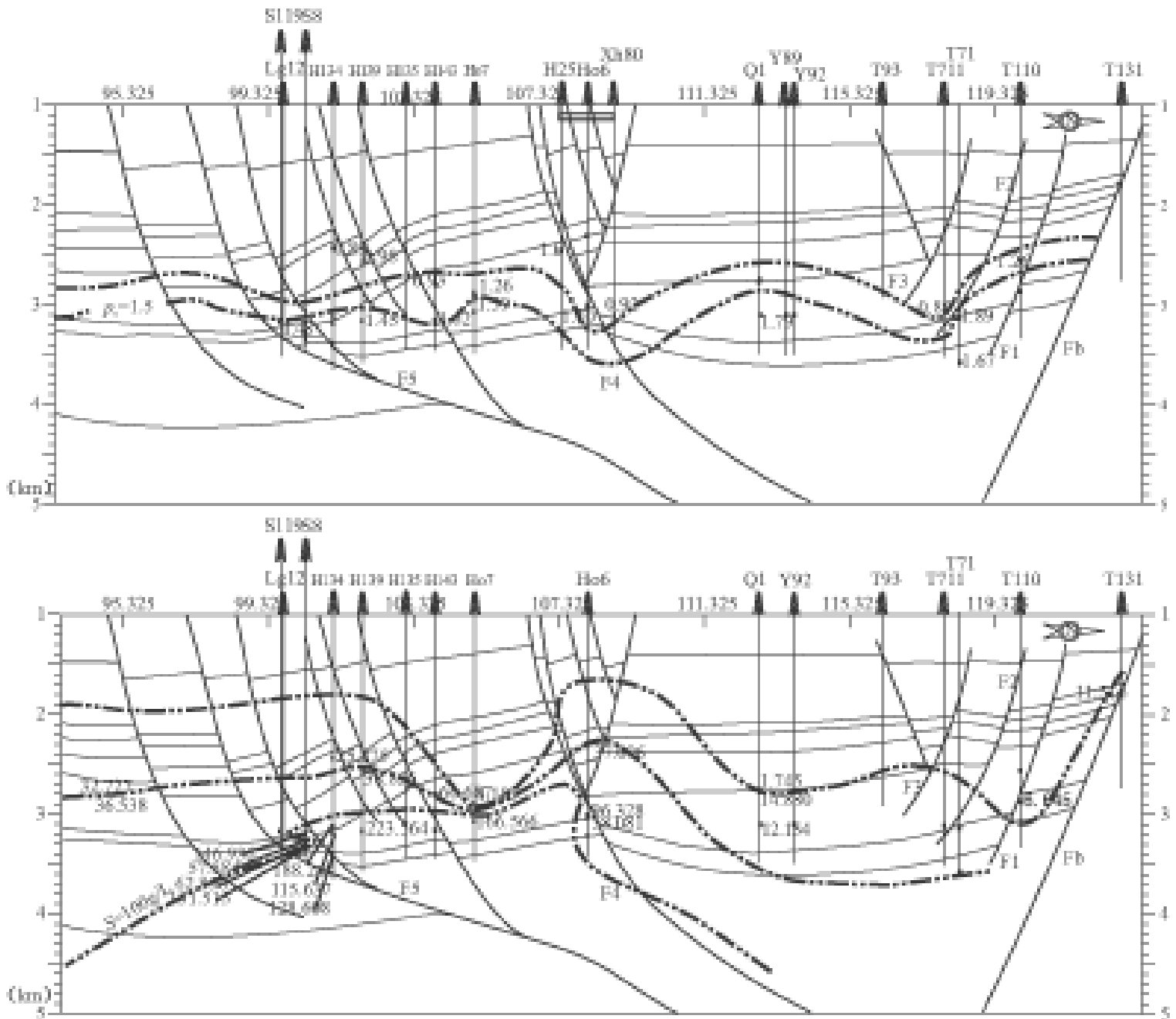


图 5-15 中央隆起带南北(603.774)测线压力系数-盐度变化特征

断层封闭性是断块油气藏形成与分布的主要控制因素,油气通过断层的运移有两种情况,一是穿越断层面从断层的一侧运移到断层的另一侧,二是沿断层面从深部地层运移到浅部地层或从浅部运移到深部地层,前者称侧向运移,后者称垂向运移。因此,断层封闭机理相应可划分为两种类型,第一种类型为侧向封闭,侧向封闭还可划分为两类,一类是对接封闭,即目的层渗透层与对置层非渗透层对接引起的侧向封闭,另一类是断裂充填封闭,即断裂充填所起到的侧向封闭作用;第二种类型是垂向封闭。

断层封闭性的研究由来已久,近年来已经取得长足进展。笔者通过研究认为,断层封闭性研究的范畴是研究断层在静态情况下的纵横向的封闭和开启性问题。事实上,断层的纵向和侧向封堵开启性是统一的,无法将其截然分开。然而,断层封闭性问题本身又是极为复杂的,它的时空分布是极不均匀的;形象地说,有时“通”,有时“封”;这一段“通”,那一段“封”。尽管其极具复杂性,但也并非无规律可循。通过研究典型区块解剖,建立了东营凹陷中央隆起带主应力封堵模式、岩性配置封堵模式、泥岩沾污带封堵模式三种模式类型。

### 1. 主应力封堵模式

断层的形成、演化与地壳中的主应力状态息息相关,它不仅决定了断层的活动方式和展布特点,同时也决定了断层封堵开启性的差异,依据主应力的性质、方向和大小进一步将主应力

封堵模式进行了划分。

断层的力学机制不同,则断裂结构面的性质不同,封堵油气的能力也具有很大差异。油田长期的勘探开发实践证明,走滑断层(扭断层)具有比张性断层和压性断层更为重要的作用,它往往比张性断层和压性断层更易封闭油气。如苏门答腊盆地,即使是压性断层也是难于封闭油气的,大量断层封闭油藏都与断层扭动作用有关。同时,人们在勘探实践中也逐渐认识到走滑断层封闭性最好,压性断层较好,张性断层次之。这是因为张性断层为张应力的产物,断裂带内存在一定比例的断层角砾,而走滑断层为扭应力的产物,在滑动的过程中,断层两盘的岩体长距离地相对错动、紧密磨擦和研磨,往往在断面上形成大量的断层泥,在纵横两个方向上均封闭油气。压性断层尽管是在挤压应力作用下形成,但压性断层形成后的应力松弛阶段产生的弹性回跳在挤压作用时表现得最为明显,而这种应力释放可造成张性裂隙,不利于断层的封闭。而走滑断层的弹性回跳不如压性断层,因此封闭性好。

从目前所掌握的资料来看,中央隆起带发育的断层在剖面上无一例外地表现出正断层性质。但是不同断层的力学机制却明显不同。区域构造分析表明,整个东营凹陷是在郯庐走滑断裂和深部热构造活动的双重作用下成生发展的,是复合应力场的产物。因此,一、二级断层的形成机制应兼具正断和扭动,即为张扭性断层;三级断层一般与二级断层平行,因此,也应属于张扭性断层;而四级断层分布无序,是主断层伴生的产物,即为张性断层。因此本区的油气分布受控于二、三级断层,而四级断层则起到分割油水系统的作用。

## 2. 岩性配置封堵模式

岩性封堵是决定断层能否具有侧向封堵的重要条件之一,尤其在较浅部位,断层力学性质为张性或张扭性,断裂带厚度较薄或不能连续分布,断层两侧岩石直接见面时,这一封堵模式显得尤为重要。一般认为,当断层两盘砂岩与泥岩对接时,断层封闭性好。当砂岩与砂岩对接,且有相同或相近的排驱压力时,断层封闭性差;当断层两侧接触的砂岩具有不同排驱压力时,断层的封闭程度取决于封堵砂岩的排驱压力与储集层的排驱压力之差。

“断层两侧岩性的配置关系影响断层封闭性”的认识由来已久,直至今日,岩性配置关系仍然是断层封闭性研究中的一项重要内容。目前研究岩性配置关系最直接最有效的方法是制作“Allan”断面图。“Allan”断面图(“Allan”fault-lane map)一词是由美国学者 U.S.Allan (1980)所创,有时也叫“Allan”断层截面图。其作图方法是以断层面为截面,将断层两盘的构造和岩性沿断层面的截面形态叠加在一张图上,储层与封堵层沿断面垂向和走向的接触关系从“Allan”断面图上便可一目了然,并可以看出横过断层两侧的油气运移和聚集情况,由此来分析断层的封闭性。

中央隆起带中的永8断块分别由南北、东西两种走向的断层组成(图5-16),存在两种岩性配置关系。第一种情况包括了南北走向的压扭性断层以及东西走向的张性断层,断层两盘处于砂砂对接状态。本区的目的层段主要为  $E_{8}^{4-8}$  的块状砂岩,厚度在 150~200m 之间,上覆则为  $E_{81}$  到  $E_{8}^4$  一套厚度为 400~600m 的以泥岩为主的地层,南北走向的、 、 号断层断距小于 100m,因此本区断层的断距在小于 150m 的情况下,无法将目的盘的块砂全部错开,因此这类断层目的盘砂岩与对盘砂岩相接触,岩性配置关系差,但勘探证实,这类断层的封闭性好,这主要与断层的力学机制表现为压扭、断层面紧密等因素有关。工区内 EW 走向的、 、 号断层力学性质为张性,又为砂砂接触,因此封闭性较差。

前已述及,中央隆起带断层多为张性或张扭性,尤其是四级断层,即断裂带本身的固结程度比较差,厚度比较薄,在某种程度上主要依靠另一盘的泥岩或不同时代的砂岩来封堵油气,

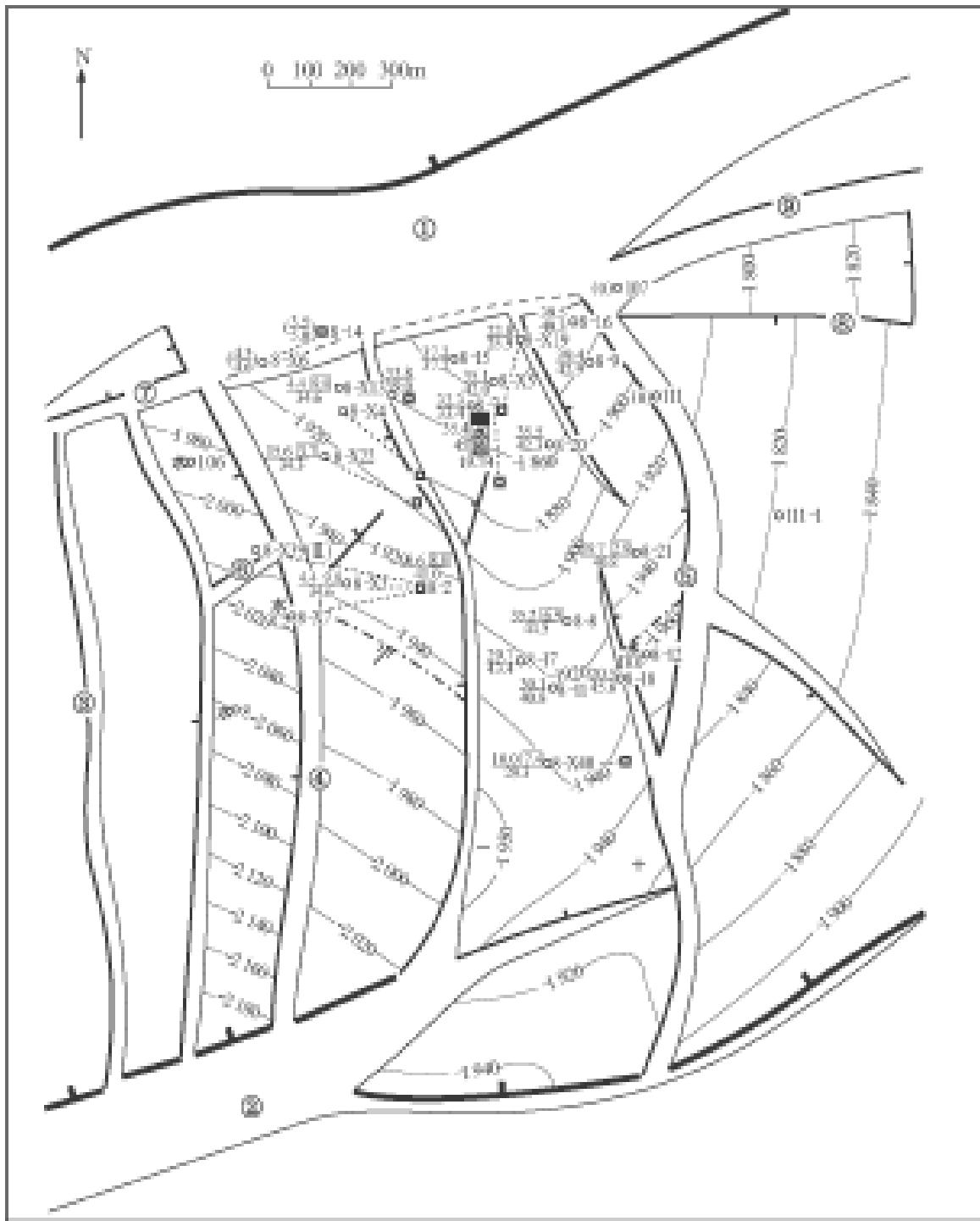


图 5-16 永 8 断块 E $\delta$  构造图(等值线:m)

否则不具封堵性。

### 3. 泥岩沾污带封堵模式

目前,研究较多的是断层泥在封堵油气方面的作用。国内外许多学者,就断层泥的分布、形成机制等方面做了较多的研究,断层泥是断层活动过程中形成的沿断裂带分布的极为细粒的泥状物。

前已述及永 8 断块四级断层主要依靠对盘的低渗层来封堵油气,而多数三级断层的封闭机制则与断裂带内的不渗透物质关系密切。

越来越多的学者已经认识到,油柱高度并不简单地受相邻两盘的排驱压力差所控制,很可能是断裂带内的不渗透物质封堵所致,尤其是对于本区控油的三级断层而言,两盘相互错动过程中导致的泥岩涂抹对于断层封堵油气必然起到积极的作用。从该区主要控油断层的油藏剖面图可以看出,几乎没有一套油层完完整整地被泥岩所封堵,都不同程度地与对盘的砂岩相接触(图 5-17),因此其封闭机制很可能是断裂带内泥岩涂抹的作用。

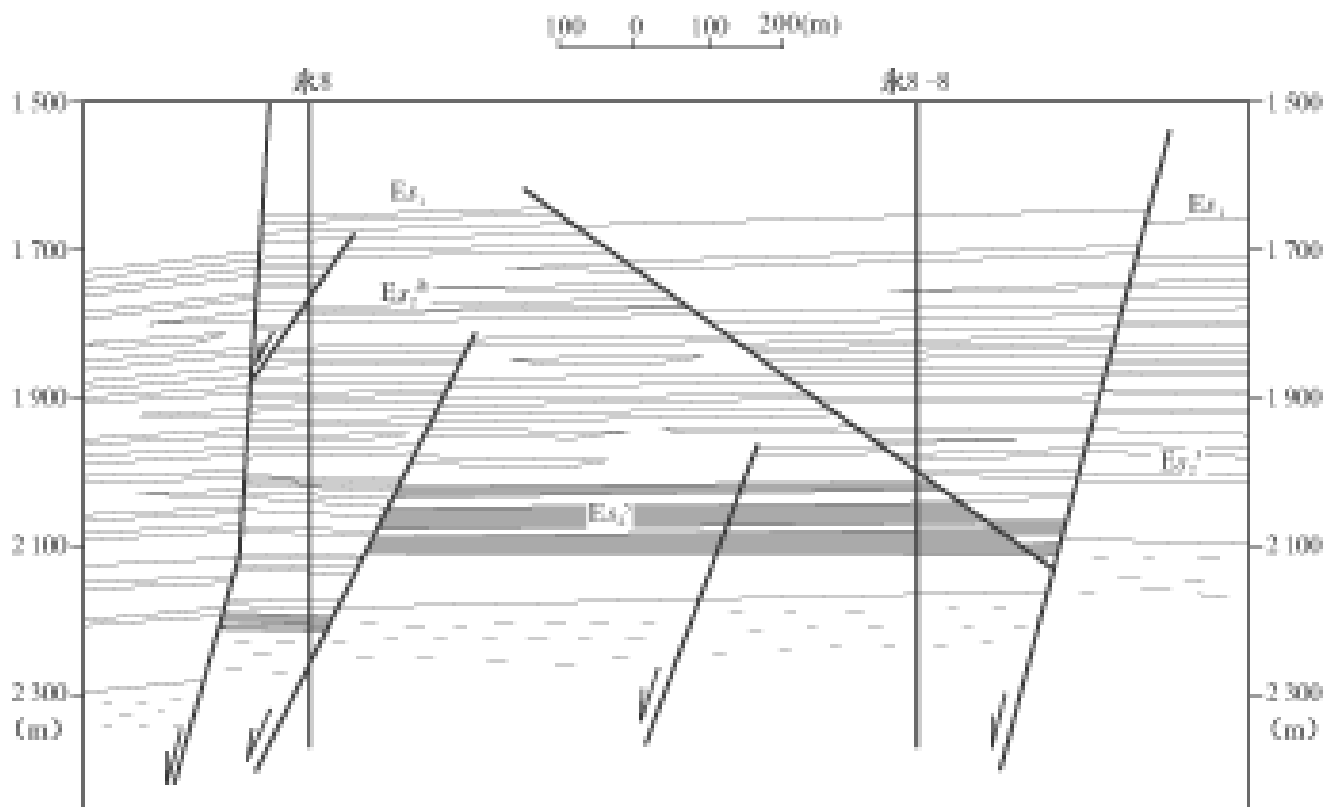


图 5-17 永 8 ~ 永 8-8 井油藏剖面图

### 第三节 主要控油断层与油气聚集关系

控油断层对油气运移的控制作用是指由于断层的存在或断层的活动,增大了油气运移的效率或改变了油气运移的方式和途径,使油气由原来在渗透层或不整合面中缓慢流动转变为以在断裂(带)中快速流动为主的纵向运移以及通过断层的横向运移。断裂对油气运移的控制作用是多方面的,既可以改变运移的方向,输导油气向上或向下或向其他方向运移,也可能促进油气的初次运移或二次运移甚至三次运移。中央隆起带断层对油气的运移、聚集成藏和油气的再分配形成油气藏有特别的意义,因此有必要探讨断裂与油气运移的关系,以揭示断层对油藏分布的控制。

#### 一、营 8 断层与油气聚集关系

##### (一) 地质背景

营 8 断层是东营凹陷中央隆起带与民丰凹陷的边界断层,也是控制中央隆起形成与演化的边界断层。由地震剖面分析,该断层下切地层达沙三段以下,多数地区位于沙三下段盐岩层之上。上部延伸至明化镇组地层,剖面上具有明显的上陡下缓犁式结构。营 8 断层总体走向近东西,但它是 by 一系列 SSW - NEE 和 SEE - NWW 断层组合而成的断裂带。

对营 8 断层及其周边的油勘探一直有很多的困惑。由目前情况来看,断裂带西端的东营一带,断层两盘都含油。然而,断裂带中段上升盘的辛斜 151、152 井则含油气性明显不同,辛斜 152 沙二下段有油气,而辛斜 151 井则几乎没有油气显示。它一方面与断层对油气的输导作用可能有关,另一方面也可能与断层上升盘岩性发育有关。为此本次工作对此进行断层封闭性与活动史分析,结合地质特征分析,对营 8 断层与油气运聚关系进行分析。

## (二) 营 8 断层特征及发育史

### 1. 断层特征

营 8 断层是一条走向近东西的断裂带,共有 7 段( $T_2$ )组成,东西延伸约 90km。断层皆发育于背斜带北翼,具有上陡下缓的产状结构。断距也有上小、下大的同生断层变化规律,但  $T_2$ — $T_3$  层断距相对更大,而上下相对较小。由营 44—丰 6—东风 8—永 110 井一线分析,断层在丰 111 井以西断距大,以东地区断距小(图 5-18)。由过营 8 断层的南北向地震剖面(图 5-19)(民丰 167、227 测线和辛镇 277、337 测线),计算其生长指数(图 5-20),在东营组—沙河街组沉积时期生长指数,具有明显大于 1 的特征,其上下生长指数为 1,故为后生断层。由此可见,营 8 断层是一个早期由边界断层上延,或由于底辟作用诱导的断层,在沙河街组四段,或三段沉积时开始同沉积活动,直至东营组沉积末。东营组沉积末期、明化镇组沉积末期的构造回返过程,营 8 断层仍有活动,故造成下部为同沉积正断层,上部为后生断层的剖面结构特征。

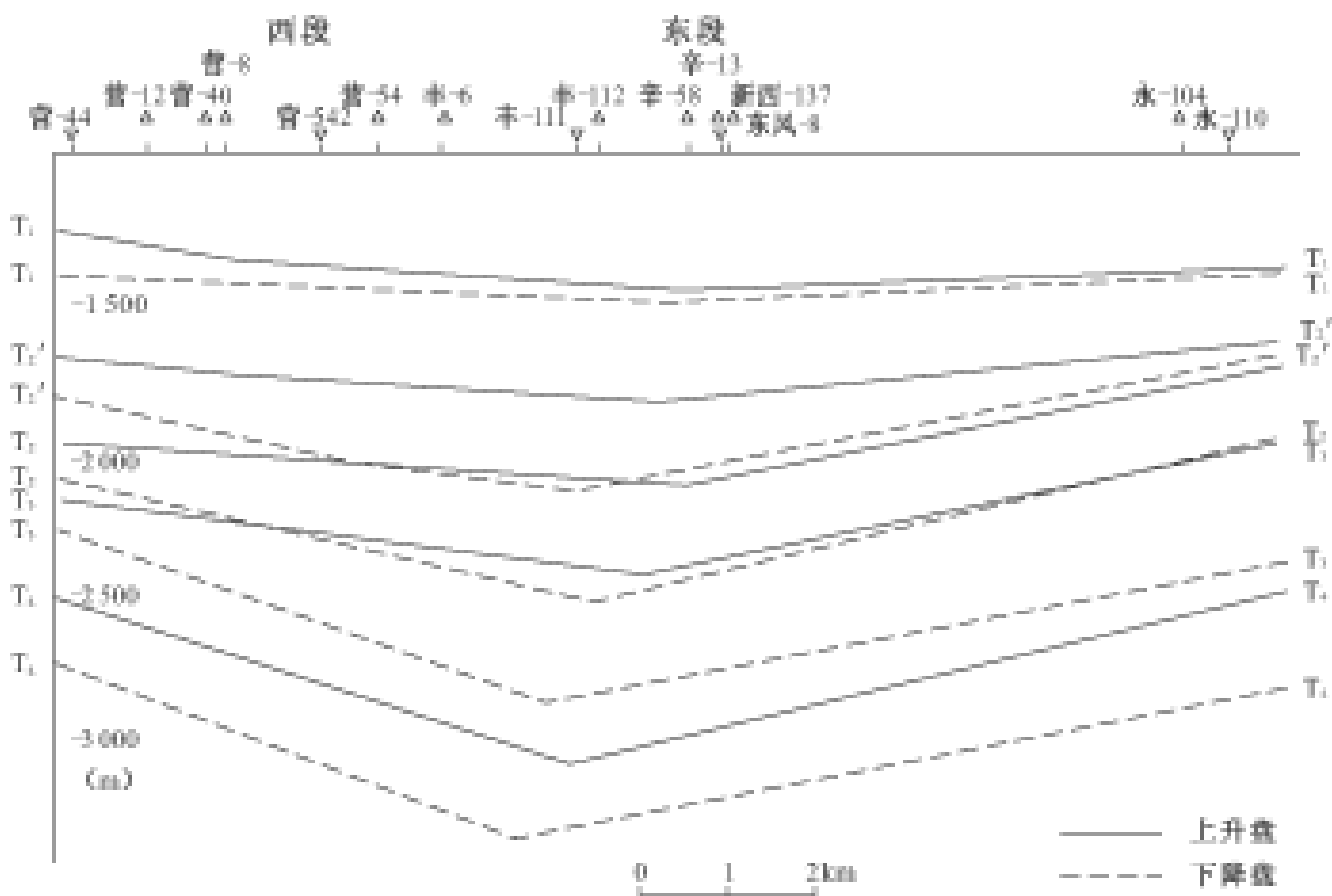


图 5-18 营 8 断层埃伦图

结合构造带地质特征与成因模拟分析,营 8 断层很可能是由深层盐膏塑性底辟上拱诱导形成的,其形成时期可能为沙二段至东营组沉积时期,此时具有明显的同生断层性质。

### 2. 营 8 断层发育史

由地震剖面分析,无论是营 8 断层本身,还是与之相关的“卷心菜”断层组合,断层的生长指数都在  $T_2$ — $T_3$  或  $T_4$  层沉积时大于 1,其上生长指数等于 1,表明  $T_2$ — $T_4$  层上断层形成于地层沉积之后,而  $T_2$ — $T_4$  层沉积时,断层具有同生性,对地层沉积具有控制作用。由剖面分析,营 8 断层也发生于沙三段沉积时期,馆陶组沉积末所有活动,但东营组沉积之后,断距明显变小,同生性质逐渐不明显。

就东西而言营 8 断层东段(F111 井以东)断距明显较西段小,后期活动性不明显,而西段在馆陶组沉积后仍有活动。其二,西段断层倾角相对小,而东段相对陡,断层也比较平直(包括

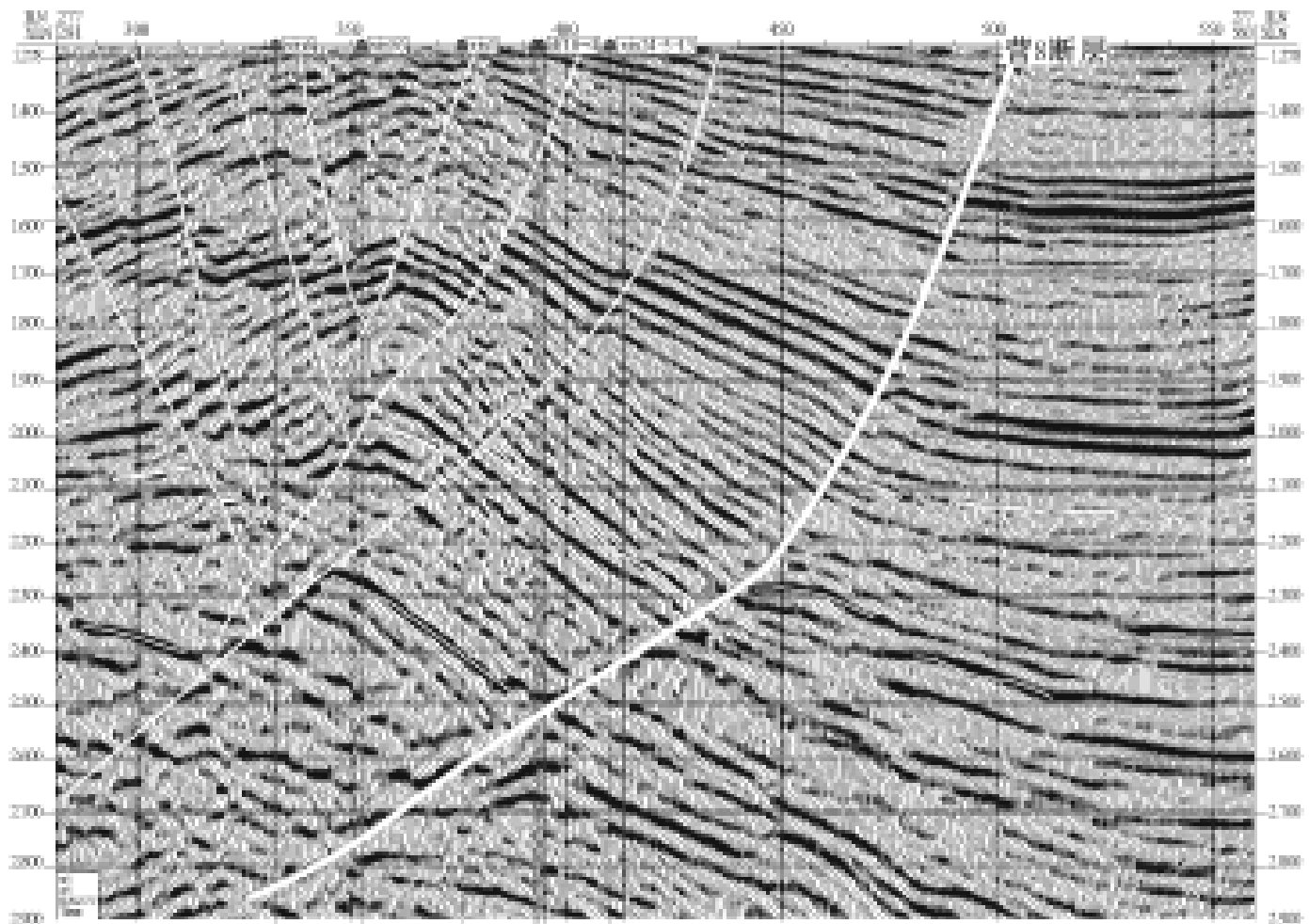


图 5-19 辛镇三维(南北 227 测线)营 8 断层特征

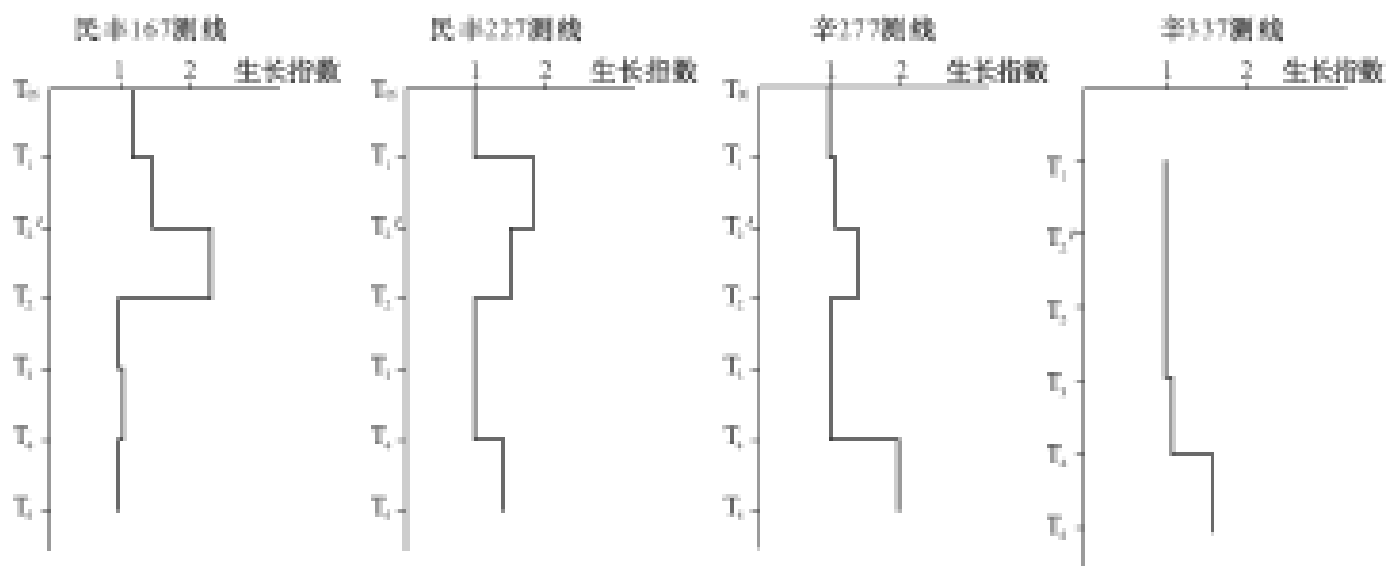


图 5-20 营 8 断层生长指数直方图

平面与剖面)。且断层东段于  $T_4$ — $T_6$  层沉积时有同沉积特征,而向西同沉积阶段逐渐变晚至  $T_1$ — $T_2$  时期,结束时间也相对较晚。就后期活动特点来看,东段断层结束晚,明化镇沉积时期仍有同沉积特点,一直向上延伸。

### (三) 营 8 断层封闭性分析

#### 1. 由两盘岩性对接分析断层封闭性

##### (1) 剖面岩性对接分析与断面压力。

营 8 井与营 23 井:由  $T_2$ 、 $T_6$  构造图和营 8、营 23 井钻井地质资料,编制的构造-岩性剖面(图 5-21),营 8 断层明显为上陡下缓犁式断层,断层倾角  $30^\circ \sim 40^\circ$ ,下降盘地层含砂率在东营组—沙河街组段明显高于上升盘。平均砂/泥比对接概率只有 2 000m 以下大于 1.0。垂直压

力由上向下变大,至 1 480m 垂直压力达 15MPa。

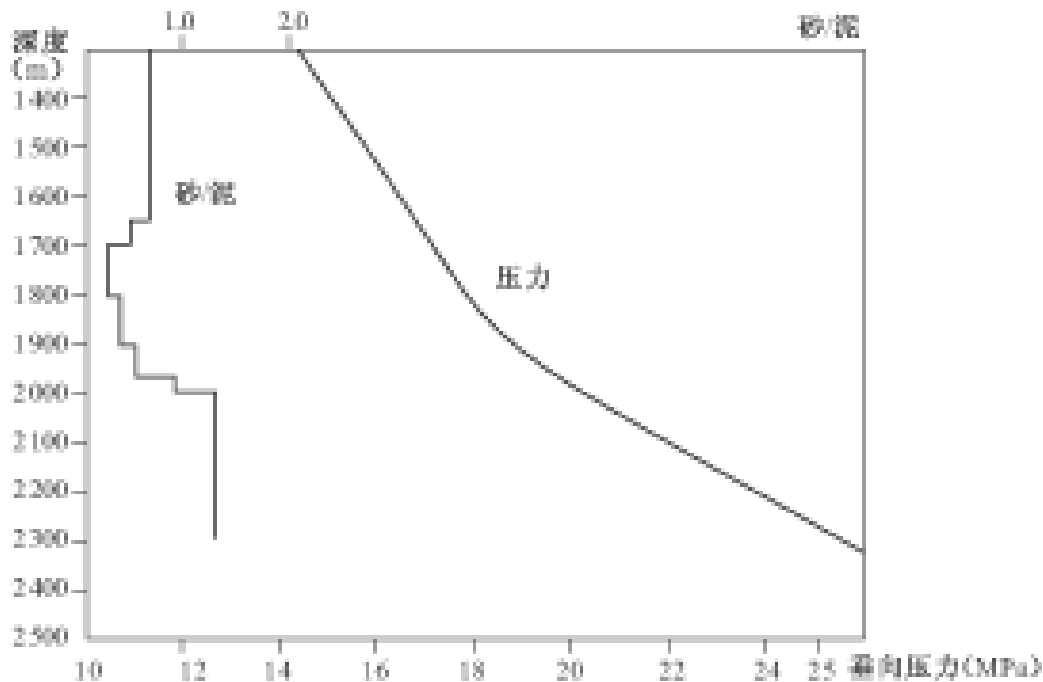


图 5-21 营 8 断层在营 8 与营 23 井连接剖面上的砂/泥对接断面上垂向压力随深度变化图

辛 243 测浅:由辛 243 地震测浅及其相关钻井和地质资料编制的地质剖面,表明砂/泥对接概率在 1 830~2 470m 间小于 1.0,很可能为封闭段。上下砂/泥对接概率大于 1。1 680m 处断面垂直压力达 15MPa。

综合营 8 断层目前两盘含油性,可以看出断层西段两侧各层位含油性相似,断层的封闭性相对较差。沙二段—东营组沉积时期,营 8 断层为较大型的同沉积断层,且本区泥地比也相对较高,故很可能存在断层面上泥岩涂抹问题,然而后期有构造活动的改造,泥岩涂抹层多已破坏。即使 1 700~2 000m 等处砂/泥对接概率普遍较低,两盘含油性仍然相似。因此,由岩性对接分析,该断层在油气运聚过程中是开放性的。但就砂岩/泥岩对接概率与断面压力而言,1 700m 以下油气在断裂带两侧穿越断层运移可能性大,而以上断裂带内则以垂向运移为主导。因此,1 700m 以上断层,砂岩体共同组成油气运移优势通道,断层起到泵吸作用。

(2) 断面地层对接分析。通过编制营 8 断层两侧地层对接剖面(图 5-21),发现营 8 断层两侧除  $T_1$  反射层外,其余地层皆有一定断距,且随埋深加大断距增大。就横向变化而言,西段断距普遍大于东段。从沉积环境来分析,东段更接近物源区,砂/泥比更高,由此分析,东段砂岩与泥岩比率更高。由埃伦图分析,西段封闭性好于东段。但实际分析,西段封闭性也较差(主要指 1 800~1 700m 以上),故东段的封闭性也不会太好。

## 2. 断裂带内特征

过营 8 断层的钻井有十几口之多,如营 51、2、41、39、40、38、542、54,丰 111,辛 58,东风 8,永 26,永 104 等井。断裂带中主要由泥质岩为主。具体特点如下:

(1) 永 20 井。永 20 井位于断层东端, $T_2$  层在断层上盘。在 2 200m 处见断层,断距 26m,相当层位  $S_2$  段。顶部为砂岩外,断裂带被泥质岩充填。相当永 110 井,在断层部位(2 349~2 529m),顶部也为砂岩,下部为大段泥岩。

(2) 营 542 井。营 542 井位于断层西部, $T_2$  层位于断层上盘,在 2 602m 处见断层,断距 24m。断裂带中由泥质粉砂岩和粉砂质泥岩组成,断裂带上下都为油层,断裂带未见油气显示。

(3) 营 23 井。营 23 井位于断距西部,  $T_2$  反射层位于断层上盘, 在 2 507m 处见断层, 断距 48m, 相当  $E_{s8}$ — $E_{s15}$  段。顶部为砂岩, 断裂带内主要由泥质岩类组成。

(4) 营 54 井。营 54 井位于断层西部断裂上, 在 2 140m 处见断层, 断裂带上、下各有 5m 泥岩, 中间为砂泥岩互层, 层位相当于  $E_{s2}$  段。

(5) 营 2 井。营 2 井位于断层西部, NWW 段下降盘处。在 2 174.8m 处见断层, 断距 2 703m。顶部有 1m 厚的灰岩, 中下部为 10m 的泥岩, 中上部为薄层砂泥岩互层。

综合上述特征, 营 8 断层在  $E_{s1}$ 、 $E_{s2}$  段部位, 断裂带内主要由泥岩为主, 而且普遍处于 2 000m 以下, 处于塑性变形阶段, 故断层的封闭性相对好。

### 3. 由断层活动性分析断层的开启与封闭性

由地震剖面分析, 营 8 断层是一个形成于沙二段(乃至沙三段)时期, 至东营组沉积时期一直为同沉积断层, 东营组沉积后于东营组沉积末和明化镇组沉积末多次活动的断层。由本区石油地质资料可知, 本区油气生成时期为沙一段沉积时期, 高峰期为东营组沉积时期, 断层与油气运移方向垂直, 故平面上起到一种堤坝作用, 纵向上为泵吸作用。断层在静止期两盘岩性对接封闭性也相对较差, 故两盘没有较好的封隔性, 只有使油气水向上升盘层位抬升的作用。当然静止期东营组与沙一段泥岩造成纵向封闭, 故主要表现为横向封闭性, 故沉积层含泥较高地段, 层位封闭性好。而活动期纵向封闭性较差, 油气由下盘进入断裂带作向两侧及向上的运移过程, 东营组末和明化镇沉积末这种可能较大。

通过分析断层活动史、含油气分析情况和断层两盘岩性对接断面压力, 可以看出营 8 断层 1 400m 以下存在泥岩涂抹带, 且目前泥岩处于塑性变形阶段, 但考虑到后期断层活动情况, 西段的改造弱, 东段强以及断层倾角, 故断层本身西段较东段封闭性相对要好。结合产层向断层和上盘层位增高和断层两段岩性对接关系分析, 西段较东段封闭性差, 这可能是一个综合效应, 更符合实际。就现今断层封闭性来看, 辛 243 测线于 1 800m 以下(东营组以下)几乎为封闭段, 而营 8—营 23 井断层处仅于 1 650~1 900m 处具有封闭性。由此可见断层的封闭性随断层的不同地段具有一定差异。由前所述营 8 断层具有近 EN 向的展布方向, 但局部为 NEE—SWW 向和 NWW 向和 WEE 向断层的组合。其中前一种在同沉积阶段类似于调解性断层, 后一种为伸展段, 后期前者具有压扭性, 后者具有张性, 故前者静止期封闭性差, 而后者封闭性好。当然在断层发生重大转折, 尖灭部位可能为早期三角洲砂体主要发育区, 故岩性连通也需考虑, 故上盘运移段主要为 NEE 向断层段与原始三角洲砂体发育区。

### (四) 营 8 断层油气运聚的关系

营 8 断层下降盘中央隆起带是胜利油田主力油气勘探开发区, 在断层西段的东营构造已跨越了断层。断层其余上升盘部位目前还未找到相当的地质储量。由此可以清楚地看到营 8 断层在油气运移过程中的堤坝作用是十分明显的, 断层的封挡作用是无疑的。然而由于局部地质作用和油气的扩散, 上升盘局部有油气也已被勘探证实, 如辛斜 152 和断层西段。如何评价营 8 断层上升盘的油气富集规律就形成了目前人们关心的问题。

断层与油气聚集的关系, 一方面是封挡造成油气的局部富集, 另一方面是起到输导作用, 造成油气沿断层的运移, 或跨越断层向上升盘运移。对封闭性断层来说, 只能有第一种结果。然而, 对结构复杂的断层、两侧局部砂岩连通的断层来说, 就会出现封闭与不封闭的现象。营 8 断层处于中央隆起带的北侧, 断层在不同地段, 地质条件差异极大, 既包括沉积同期断层的结构参数的不同, 沉积地层的差异(如断层衔接部位为河流发育区等), 也包括断层后期活动史

的不同。因此断层与油气聚集关系是一个十分复杂的问题。总的来看 NEE 段和三角洲砂体发育段断层上盘见油气的可能较大, NWW 段相对较差。

## 二、河 125—河 68 井断裂与油气聚集的关系

### (一) 断层特征及发育史

河 125—河 68 井断层向西倾斜, 是东营凹陷两个次级洼陷的分界断层(图 5-22)。该断层控制的断裂带, 也是中央隆起带向西南方向扩展的部分, 即东辛构造向南西面积扩大的部分。河 125—河 68 井断层是一条向北西倾斜, 自西向东由 NEE 到 H125 井转为 NE 向延伸的断层, 一直延至东辛构造, 被中央断裂限制。

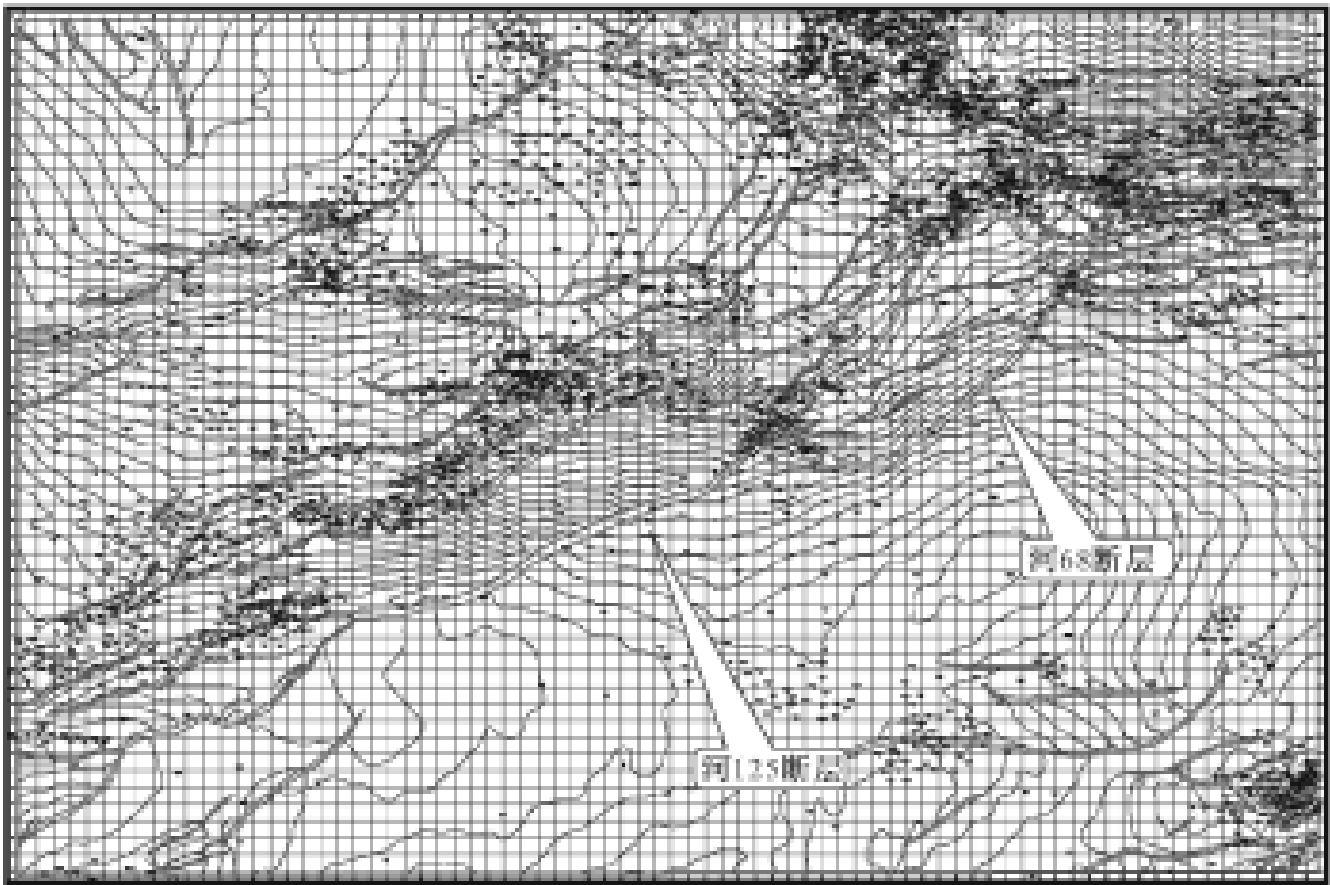


图 5-22 河 125 断层—河 68 断层平面分布图

河 125—河 68 井断层也是一条长期发育断层, 在东营组沉积时期以前一直为同沉积断层, 是王庄砂体向西进入深湖区的重要限制因素, 特别在断距较小的沙三段沉积时期, 是形成断层下盘浊积砂体的主要条件; 由地震剖面与区域地质分析, 东营组沉积末和明化镇组沉积末该断层仍有活动, 主要表现为压扭性断层性质。

H125—H68 井断层分南北两段, 在 H68 井区重叠。断层上目前发现两个油田, 位于两断层交叠部位和断层北段的两高点区, 主要产层为沙二段。高点的形成主要与同沉积发育过程有关, 也与后期压扭作用有关。

由地震剖面与过井剖面分析, 该断层具有上陡下缓的结构。断层在  $T_1$  层以下为同沉积断层,  $T_1$  层以上为后生断层。在  $T_2$ — $T_3$  层之间是同沉积断层最发育时期。过 H124-3—H124-2 井剖面断层  $T_2$  层倾角  $52^\circ$ , 向下逐渐变小, 至  $T_6$  层为  $9^\circ$ 。同样过断层的 H100—H71-2 井剖面, 相当层位断层倾角为  $35^\circ$ 、 $12^\circ$ 。由生长指数分析(图 5-23), 断层在  $T_4$ — $T_5$ 、 $T_1$ — $T_2$  层是同沉积主要活动期。断层两盘地层对接表明断层南段断距较北段断距大, 北段只

有北端部位断距稍有加大(图 5-24)。由此表明南段同沉积幅度大,北段稍弱。在同沉积活动之后,断层南段基本未活动,而北段在东营组沉积之后似有活动。

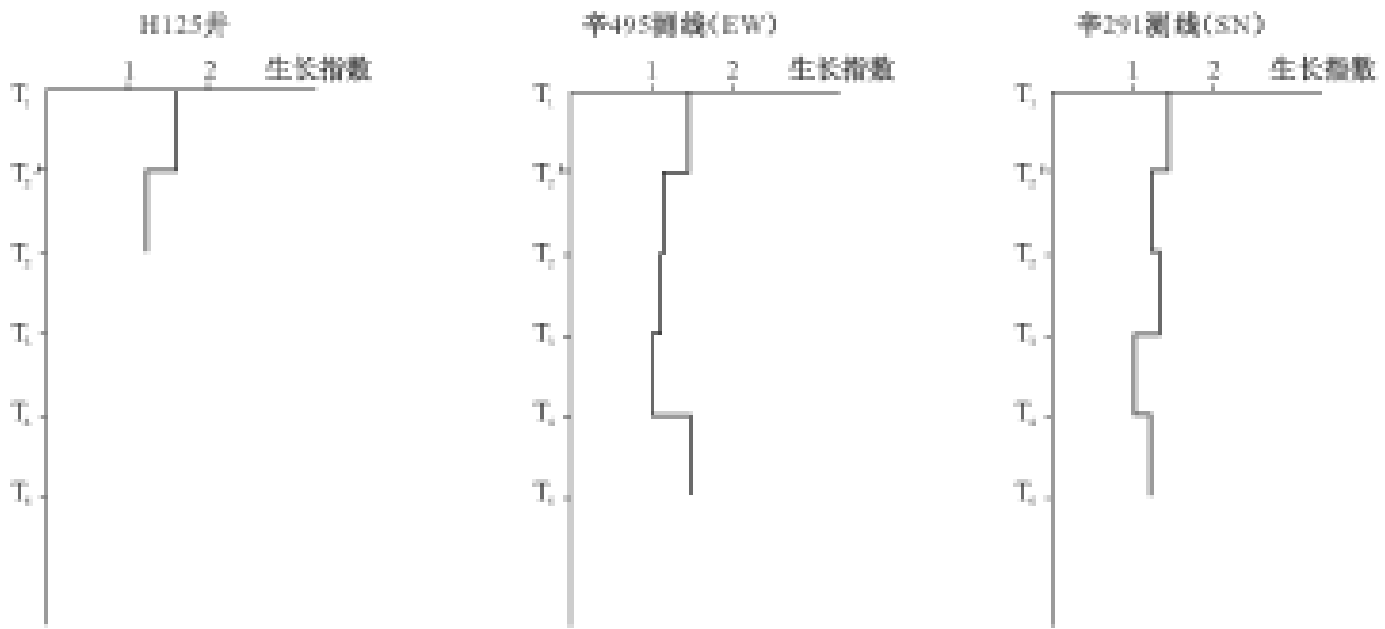


图 5-23 河 125 断层—河 68 断层生长指数图

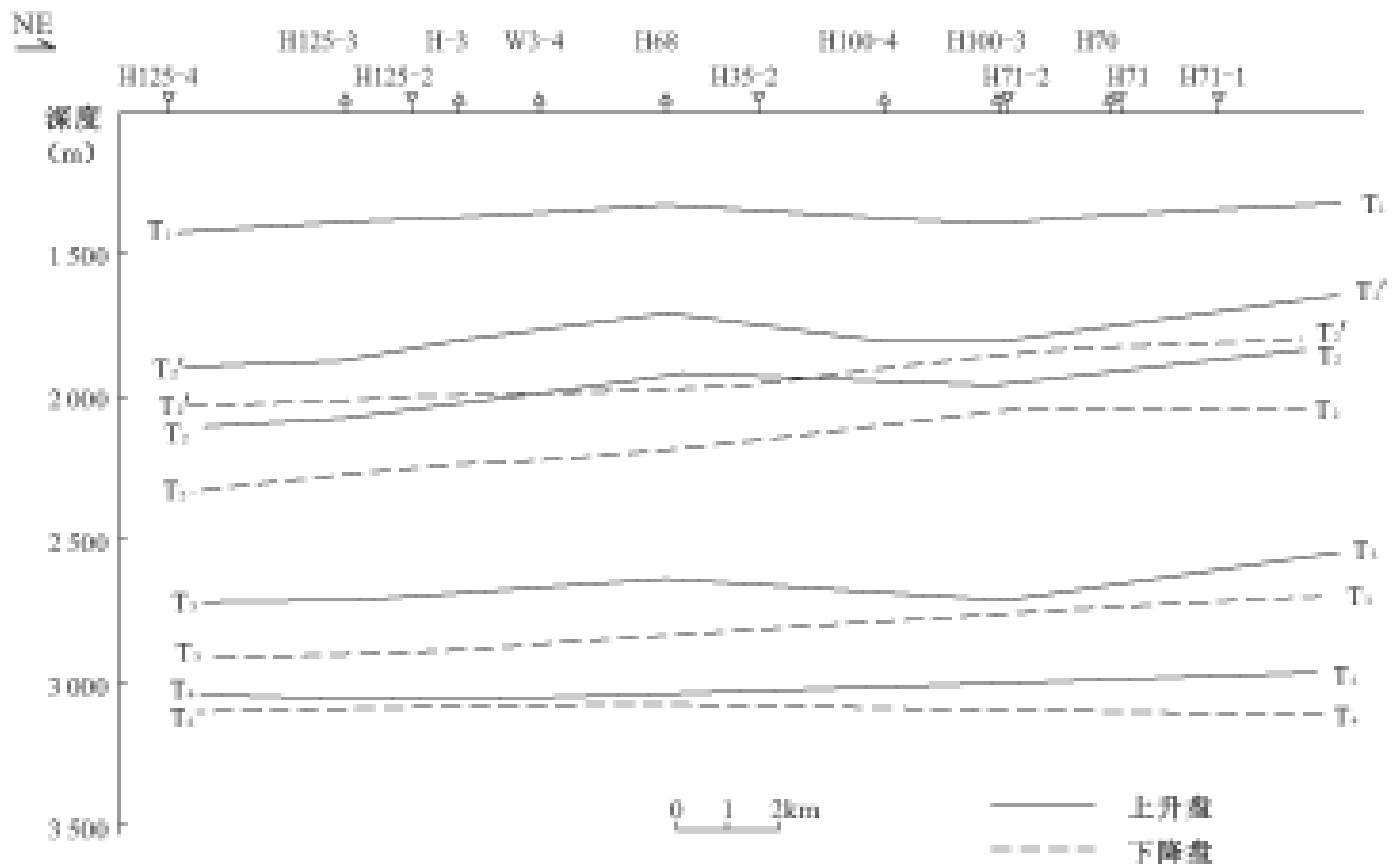


图 5-24 河 125 断层 - 河 68 断层埃伦图

## (二) 断层现今封闭性评价

### 1. 断层与油气分布情况

H125—H68 井断层目前已发现两个油田,即河 68 和河 11 油田,产层为沙一、二段。其中河 68 油田位于南北两段断层交叠部位的上升盘部位,1 800~2 100m 处,Es 段与 Ed、Ed 段对接,油气主要富集于 Es 段地层中,表明断层具有封闭性。2 100m 以下断层两盘都为油层(Es),显示出断层侧向封闭性差,具有连通迹象。这些特点表明东营组下部具有封闭能力较强的区域盖层,或塑性较强的盖层(钻井证实泥岩缩径现象十分明显)。

### 2. 断层两盘地层—岩性对接关系与断面压力分析

(1) 两盘地层对接关系:通过过两盘地震和钻井资料分析,在 1 400~1 700m 以上为东营组地层的相互对接段,大体错一个层段。1 700~2 100m 为东营组与沙河街组一段的对接段。2 100m 以下为沙河街组地层相互对接层段。沿走向南部相对北部断距稍大。

(2) 岩性对接关系分析与断面压力。

H124-3—H125—H63 井剖面:该剖面位于断层南段,上升盘被 H124-3 井控制,下降盘被 H124-2 井、H63 井控制。其中沙一、二段有小层分层数据,东营组仅为段的分层与岩性资料。为此以地层段为分析基础,设计分析了两盘岩性对接关系(图 5-25)。

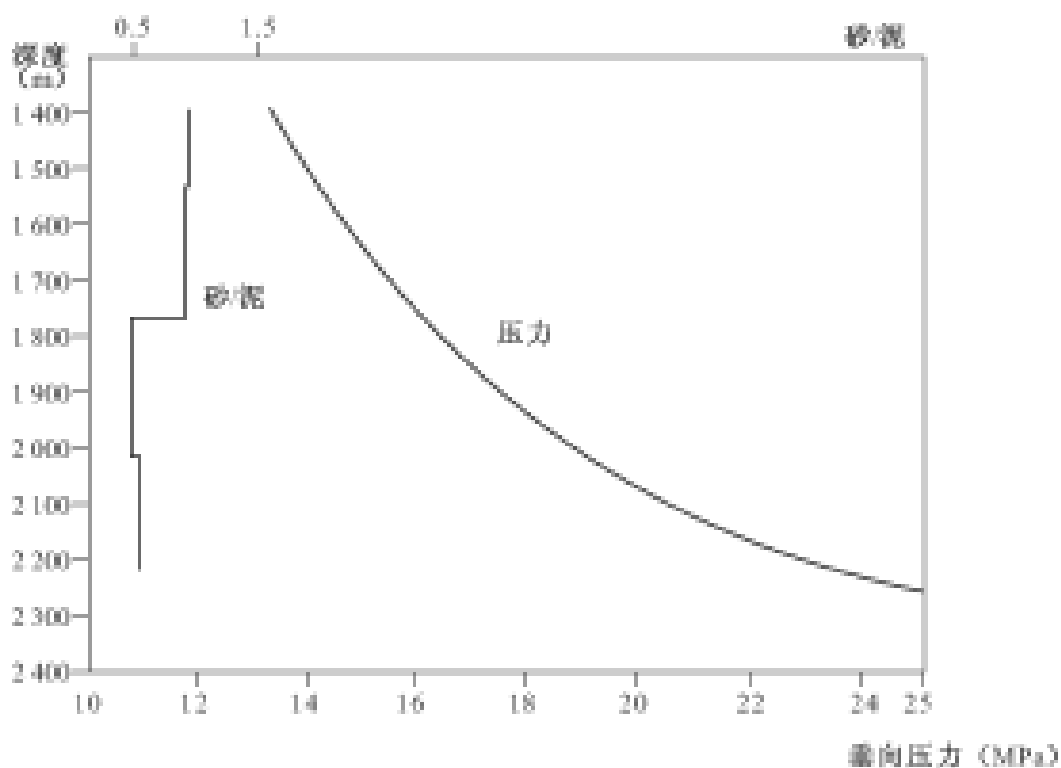


图 5-25 河 125 断层—河 68 断层砂/泥对接断面上垂向压力随深度变化图

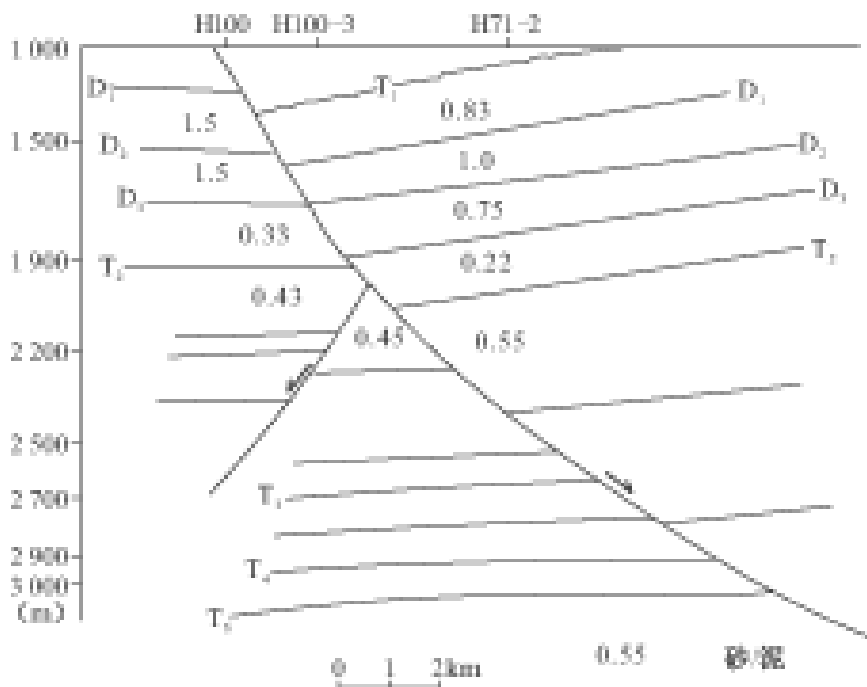


图 5-26 河 125 断层—河 68 断层砂/泥对接图

由图 5-26 分析可知,1 800m 以下两盘岩性对接概率砂/地比明显小于 1,在 0.5~0.7 之间,说明本段泥岩地层占绝对优势,砂岩的见面率在 25%~30% 的基础上。1 800m 以上两盘岩性对接的砂/泥比接近 1,也就是说砂岩见面概率有 80% 可能性。前述分析已指出 1 400m

以下为同沉积发育阶段,且东营组沉积时又是同沉积断层再次活跃阶段,故下部早期形成泥岩涂抹层和低砂/泥比的可能大,而上部后期泥岩涂抹层要高。由现今 1 800m 以下断层的封闭性较好的情况可知,断层封闭性主要受泥岩地层厚度控制。

另外,断面垂直压力计算表明,在 1 700m 以下泥岩处于塑性变形阶段,含油层段也在 1 700m 以下,故现今 1 700m 以下应为封闭段。

H100—H71-2 井剖面:该剖面位于北段断层南部(图 5-27),断层两侧砂岩对接砂/泥比在 1 700m 以上与 2 100m 以下均大于 1,表明地层砂岩见面率大于 80%。其间砂/泥比为 0.5 左右,地层中砂岩见面率仅在 25% 左右。该段大体对应  $E_{s1}$  段与  $E_{d1}$ 、 $E_{d2}$  段对接段。其下砂/泥比大,两侧具有连通迹象。

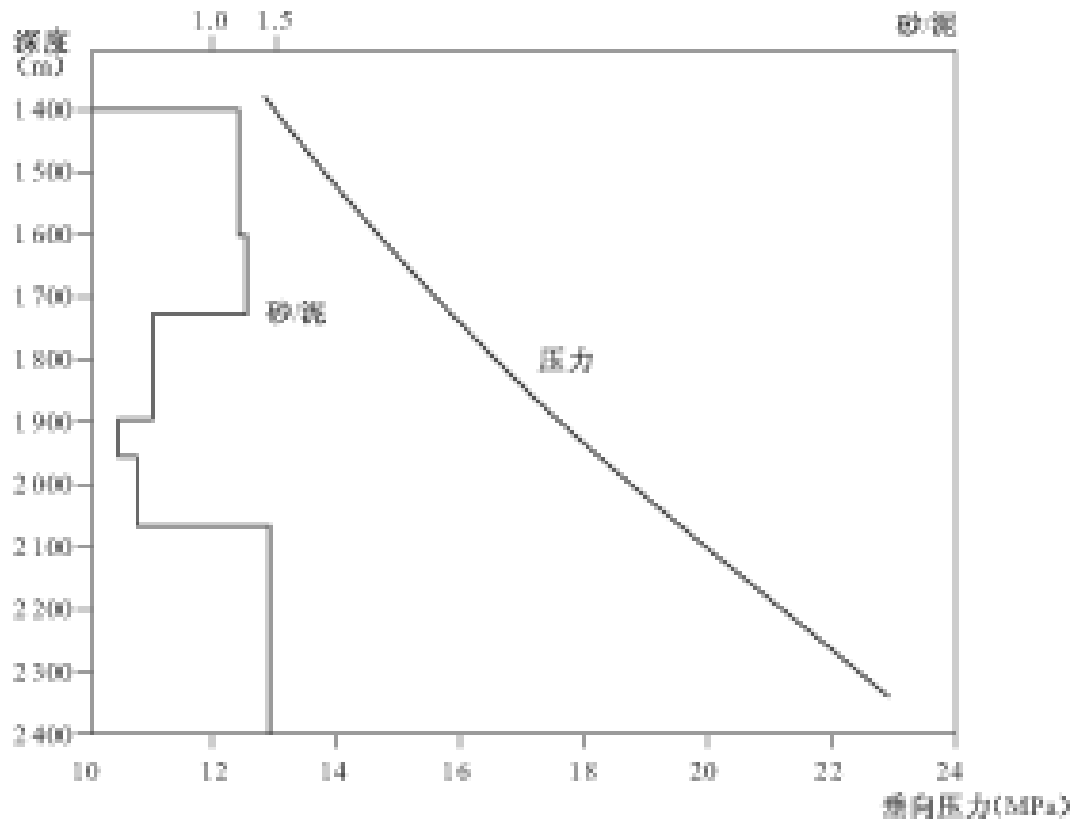


图 5-27 河 125 断层—河 68 断层带在河 100—河 71-2 井连接剖面上的砂/泥对接断面上垂向压力随深度变化图

断面垂直压力计算表明于 1 600m 以下泥岩达到塑性变形,  $E_{s1}$  与  $E_{d1}$ 、 $E_{d2}$  段对接处已达该深度。

### 3. 断裂带内结构分析

(1) H71-2 井。H71-2 井位于南段断层的北端,在 2 451 ~ 2 468m 见断层,地层相当沙二段下部。断层带基本上由泥岩组成。

(2) H68 井。H68 井位于南北两段地层交汇处,在 2 022 ~ 2 058m 沙二段 ( $E_{s2}^1$ — $E_{s2}^6$ ) 见断层。断裂带内以泥岩为主,中下部和上部夹砂层。

(3) H124-2 井。该井位于南段断层由 NEE 向 NE 向的转折部位,在 2 288 ~ 2 328m 沙二段 ( $E_{s2}^3$ — $E_{s2}^7$ ) 见断层。断裂带内主要以泥岩为主。

(4) H100-3 井。该井位于北段断层中南部,在 2 175m 见断层,垂直断距 68m,层位相当  $E_{s1}$  段。断裂带为泥质粉砂岩、粉砂岩、砂岩与泥岩互层,顶部为厚 6m 的泥岩。

由上述断裂带组成可以看出,本区断裂带中沙一、沙二段层位皆以泥岩为主,且泥岩又处于塑性变形阶段,故断裂在  $E_{s1}$ 、 $E_{s2}$  段的封闭性相对好。

综合上述,泥岩厚度是控制断层封闭性的主要因素,泥岩在地层中达 1/3 厚度,断层应具封闭性。

### (三) 断层封闭主控因素分析与评价

#### 1. 主控因素

通过断层剖面封闭性分析,结合油气运聚史资料,H68—H125 断层垂向封闭性明显受东营组泥岩层控制,其间具有较好封闭性,上下不明显。侧向上,在 E<sub>51</sub>、E<sub>6</sub> 段部位断裂带中以泥岩为主,断裂也具封堵性,泥岩厚度应为主控因素。当然其活动史也有某种影响。

#### 2. 评价

H125—H68 断层静止期纵向在东营组下部是封闭的,侧向上受砂岩见面率控制,故北段封闭性较南段差。以活动史来看,后期北段活动强,结束晚,故也具北段封闭性差的特点。

## 三、民丰断裂带与油气运聚关系

### (一) 区域地质特征

#### 1. 区域位置

民丰断裂带位于东营凹陷北部斜坡与民丰洼陷过渡带(图 5-28)。断裂带走向 NWW—SEE, T<sub>2</sub> 反射层上由 3~6 条断层组成。剖面上由于断层的发育形成一个断裂坡折带,为捕获来自南部的油气提供了有利的条件,形成了一个有利的油气富集场所。

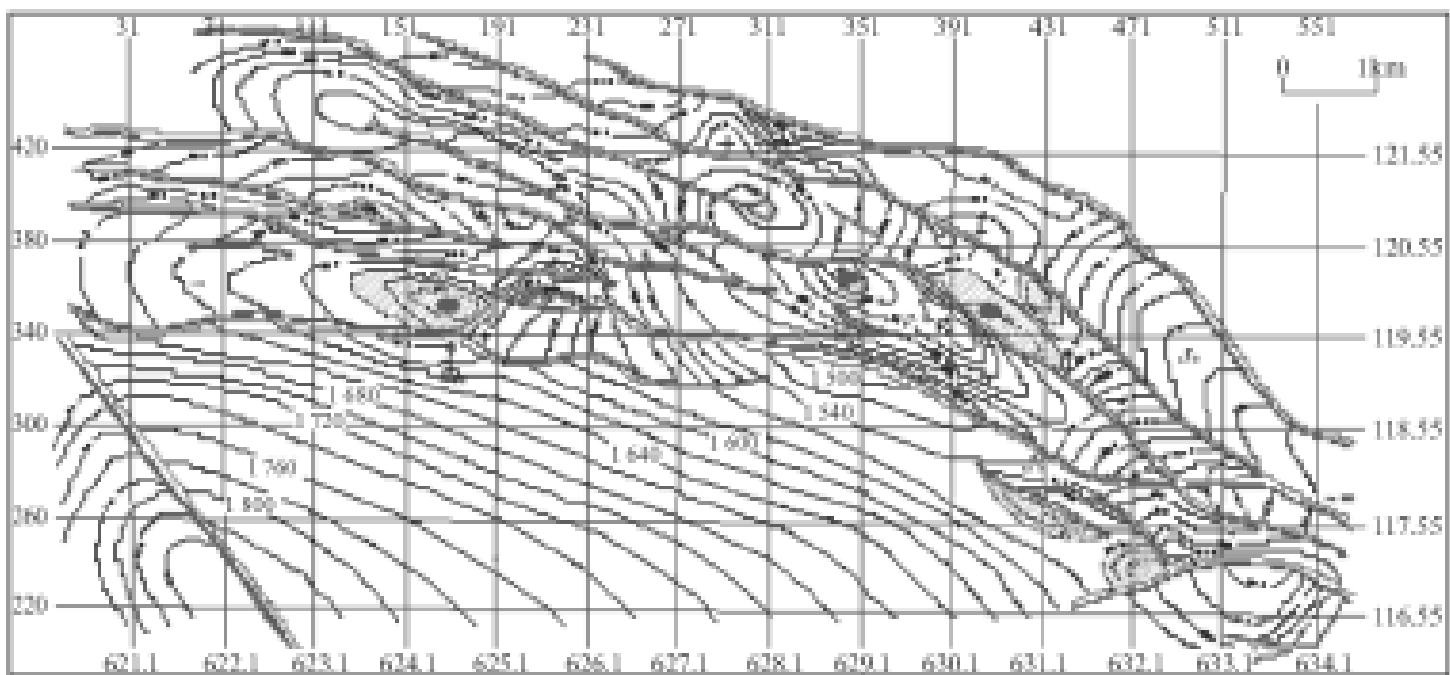


图 5-28 民丰断裂带特征(民丰地区 T<sub>2</sub> 构造图)

目前勘探证实,民丰断裂带约以周家围子为界明显分为东西两段,西段除南缘发育一条北倾断层外,其余断层组成一个向南下跌的阶梯状断层组合,总体为一不对称地堑。东段断层发育相对简单,为一近于对称地堑。民丰断裂东延进入断裂复杂区,主干断层向南倾,并发育了一系列向南延伸的次级断层。

#### 2. 沉积地层特征

民丰断裂带位于斜坡区,其北侧进入了新生代地层的沉积尖灭区,即为陈家庄凸起和青坨子凸起。据沉积地层研究,沙河街组沉积时期之前的中新世时期,研究区始终处于冲积扇发

育区,扇体主体位于永安镇,向丰 1 井逐渐消失,进入河流-湖泊沉积区。进入沙河街组沉积时期的沙四段沉积与早期有继承性特点。沙三段下部沉积时期湖盆扩大,本区几乎为深湖发育区,沉积大量的泥岩。沙三段中部沉积时期,全区处三角洲-前三角洲发育区,砂岩东部较西部发育,永 73 井以西为泥岩发育区。沙三上沉积时期,本区仍处于三角洲体系中。永 12 井以东为砂岩发育区,丰 1—盐 2 井发育一近 SN 向的砂岩体,其他地区为泥岩为主的发育区。沙二段下部沉积时期,研究区仍处于三角洲沉积区,但丰 1 井以西砂岩明显较以东地区发育,西部至利津形成了一个由南向北的砂体。东部地区泥岩发育为主,夹有砂岩层。沙二段上部沉积时期,丰 1 井以西永 12 井以东各自发育一个冲积扇体,其间为湖相沉积区。丰 1 井以西砂岩体近 SN 向展布,东部永 12 井以东砂体以近 EW 向展布为特征。

### 3. 圈闭与油气分布情况

由地震剖面及其平面构造图分析,研究区主要为发育断层上升盘的小型断鼻构造发育区,只有丰气 1 井区发育一 EW 向断背斜。目前该带油气主要分布断裂带东段,主要产层为沙二段。从东段来看,南部为油区,北部有气显示,具有下油上气的特点。油气分布与局部构造关系不明,故圈闭主要为岩性圈闭,或断层-岩性圈闭。

## (二) 断裂带特征及其发育史

### 1. 剖面特征及发育史

民丰断裂带总体为一不对称地堑带,主干断层向 NE 倾斜,断面平直,向下变陡,北侧向 SW 倾斜的断层,组成负花状构造,具有张扭性断裂带。断裂带两段主干断层为长期活动断层,下降盘次级断层于馆陶组沉积仍有活动。东段断层南侧主干断层也为一条长期活动断层,但反向断层的活动多终止于东营组沉积末。就反向断层活动强度来看,沙一段、东营组沉积时期,东段断层同沉积特点十分明显,上部形成对称地堑结构,上述地层厚度较大。然而此时的西段断层同沉积活动不明显,上述地层形成了自南向北的超覆结构,地层厚度也较小,由此可以看出东营组末的构造活动西段断层活动性强,其开启性比东段大。

### 2. 断裂带平面特征

民丰断裂带是一个西自胜坨东到永安镇的 NWW—SEE 向断裂带,以周家围子为界,西段较宽,北至民丰,南到丰 1 井,南北宽 3~4km,由 6~7 条断层组成,北侧由于断层呈阶梯状向南下跌和南缘北断断层组成不对称地堑。东段由 3~4 条断层组成,形成一个近对称地堑。T<sub>6</sub>—T<sub>4</sub> 构造层、T<sub>4</sub>—T<sub>1</sub> 构造层各自形成一个相似断裂系统,向上断层数量增多,构造复杂化。

就地层起伏梯度变化而言,T<sub>1</sub> 反射层起伏很小。T<sub>1</sub>—T<sub>4</sub> 反射层以下,西段地层向北倾角变大,而东段则平缓。T<sub>4</sub> 以下地层起伏平缓。

## (三) 断裂带与油气聚集关系

### 1. 断层与地层发育关系

(1) 断层与地层发育关系。由 SN 向的民丰地震剖面分析(图 5-29),民丰断裂带似乎产生于沙一、二段沉积时期,东营组沉积时期是断裂带主要发育时期。因而断层对东营组以下地层相当于后生断层,而上部东营组沉积时期为同沉积阶段。就断层断距而言,只有主干断层使相当层位彻底错断,其余断层几乎没有相同层位地层彻底断开。

(2) 断层与沉积关系。由地层厚度图、砂岩分布图、沉积体系图与断层关系来看,断层走向与沉积体系方向展布近于垂直,只有东营组沉积以后沉积体系展布方向与断裂带走向一致。就沙二段砂岩体展布方向而言,丰 1 井以西砂体展布方向为近 SN 向,东部近 EW 向展布。

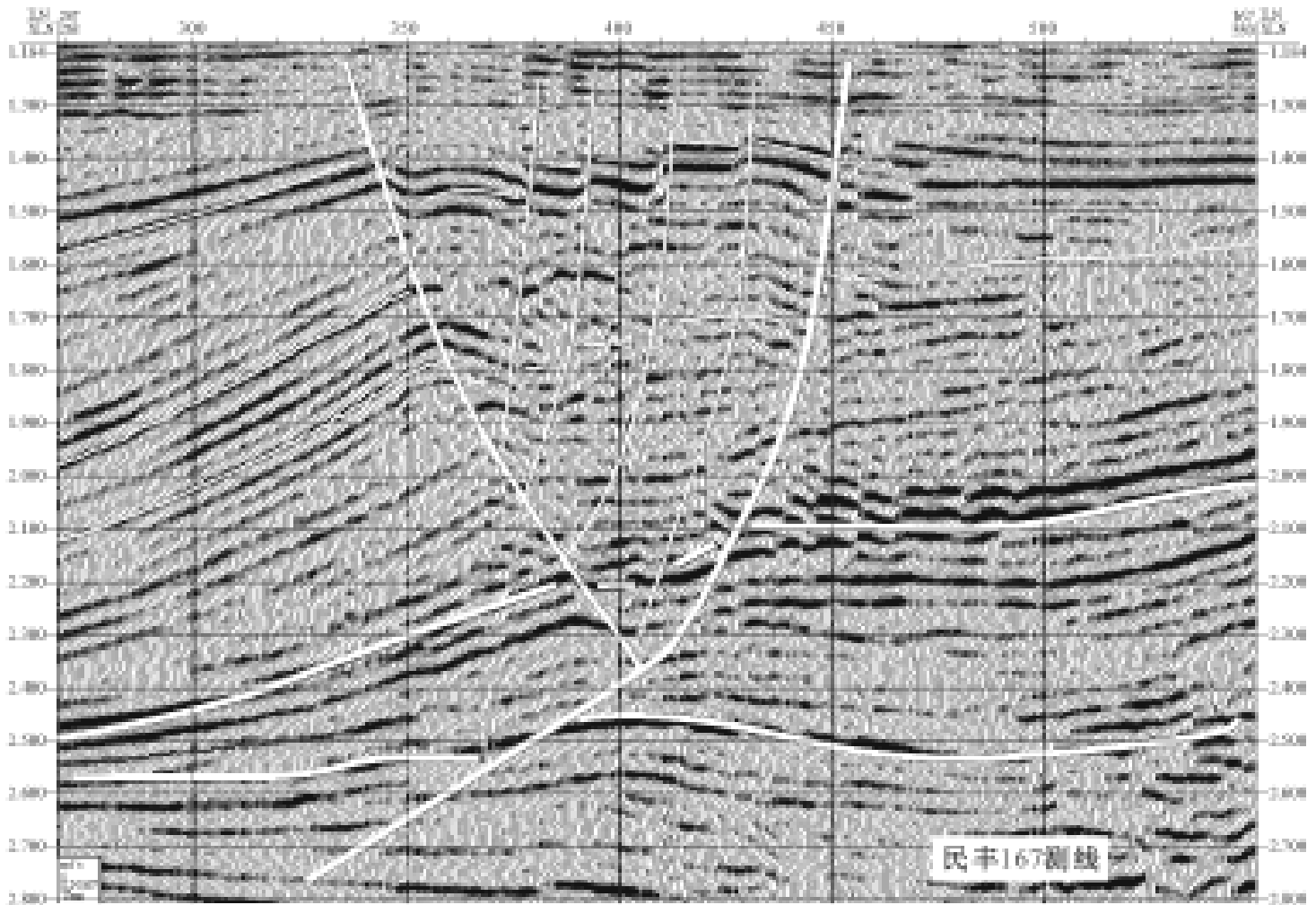


图 5 - 29 民丰断裂带剖面特征

## 2. 断裂带与油气聚集关系分析

民丰断裂带是一个断裂坡折带,两端为南北向展布断层控制的扇体发育区,但如前所述砂体发育时期,东部砂体具有近 EW 向的展布方向,与断裂带展布平行,而西部则为切香肠的断层与砂体的关系。因此就圈闭而言,东部相对圈闭形成容易,西部则难以形成有效圈闭,即使形成圈闭,由于  $T_2 - T_2$  层相对较薄,有效盖层不太发育。目前永安镇油田主要分布于负花状构造中心部位的滑陷型背斜之中。由此可见,断裂带西段地堑区仍具一定潜力,如丰气 2 井—东西断裂带交汇区的高点区。

## 第六章 中央隆起带油气成藏模式

油气藏的保存与破坏是油气成藏以后的演化过程中矛盾运动的两个对立统一的方面。由于地史过程中构造运动与变动频繁发生,油气藏无疑要受到构造运动的影响,其演化向两个方向发展,一是向有利于油气藏保存并使油气更富集的方向发展,一是向破坏油气藏的方向发展,这主要是由断层自身的属性以及油气藏这种流体矿产的特点所决定的。也正是由于断层在油气的运移和聚集中发挥了巨大作用,才使我国的东部油区多表现出复式油气田的特点,即表现出纵向上具多套含油层系,油藏类型丰富多彩,既有原生油气藏,又有次生油气藏,既有常规油藏又有非常规油藏的特点。

### 第一节 油气成藏要素分析

中央隆起带的成藏要素包括烃源岩、储集体、盖层、圈闭 4 个方面。下面分别对这四个成藏静态要素进行分析。

#### 1. 烃源岩

烃源岩在含油气系统中受到了极特别的偏爱,因为它最终决定了含油气系统的确立和数目。这就不难理解 Perrodon(1992)的论述:储集层、盖层和圈闭的存在仍然是必要的,但缺少任何一项只影响局部,唯烃源岩是必不可少的。对于成藏动力系统而言,烃源岩依然重要,只是不再是确定系统的关键了。油(气)—源岩对比的方法便更具成藏过程研究的意义——它指出了油气运移的两极——起点和终点,当然中间的过程总是复杂的。

东营凹陷有 6 套生油岩系,即石炭系—二叠系、中生界、下第三系孔店组—沙四下亚段、沙四上亚段、沙三段和沙一段。考虑到地层形成后所经历的时间和埋藏深度,东营凹陷具有现实可能性的烃源岩主要是沙四上亚段、沙三段和沙一段。而中央背斜带中央隆起带三面临洼(民丰洼陷、利津洼陷、牛庄洼陷),油源条件得天独厚,沙四上亚段沉积时期东营凹陷处于主要沉降时期,沉积最厚,大部分范围内达 200~400m,干酪根类型为 I 型和 II 型,此时利津洼陷生油岩厚 200~300m,牛庄洼陷厚 250~300m,其他地区 150m 左右。

沙三段大套暗色泥岩是本区主力生油层系,其中又以沙三下亚段生油性能最好。主要原因在于沙三下亚段是油页岩、页岩沉积,而沙三中、上部是一个河流—三角洲进积充填过程,有机质中高等生物成分较多。沙三下亚段主要为深灰色泥岩分布于四个洼陷中心,厚度 200~300m,沙三中亚段主要为深灰色泥岩,在利津、牛庄洼陷厚度达 500m,民丰洼陷厚度 250~400m;沙三上亚段为灰色泥岩,主要分布于利津洼陷,厚度 200~300m。Peters 等(1994)提出有效烃源岩有 3 个较易定义的先决条件:有机质丰度、有机质类型和有机质演化程度。据中央背斜带南牛 38 井沙三段 600m 岩心样品系统分析,沙三段生油层干酪根类型和有机质丰度,均由下向上变差(表 6-1)。

沙一段主要以页岩和生物灰岩沉积为主,厚度在 100~350m 内,其中 I 型和 II 型干酪根占凹陷面积的一半。

生油层系的生排烃时期除了受到干酪根类型的控制外,还受到埋藏时间、上覆地层厚度的

表 6-1 牛 38 井沙三段地化特征对比表

测定值 地化指标		层位	沙三段中部		
			沙三段下部	下	中
井段(m)		3 450 ~ 3 283	3 283 ~ 3 136	3 136 ~ 2 842	2 842 ~ 2 574
微量元素	Mn/ Fe	0 .0245	0 .0147	0 .0091	0 .0124
	Sr/ Ba	1 .59	1 .04	0 .89	0 .43
	Ca/ Mg	2 .11	2 .32	2 .92	1 .65
有机质地球化学指标	古盐度	12 .42	8 .99	18 .84	8 .07
	有机碳(%)	5 .680	1 .398	1 .376	0 .007
	氯仿沥青(%)	0 .968	0 .135	0 .804	0 .908
	总烃/ 岩石(×10 <sup>-6</sup> )	6003	875	471	169
	氢指数	485	288	238	164
	氧指数	19	51	58	74
	腐指数	91 .8	63 .0	44 .7	36 .4
	腐泥组(%)	93 .5	57 .5	48 .8	7 .6
干酪根类型			- 1	1 - 2	-

控制,即由凹陷沉降历史以及地温梯度所决定的有机质转化条件的制约。据前人研究,东营凹陷生油门限值参数如表 6-2 所示。

表 6-2 东营凹陷门限值参数

镜质体反射率 $R_o$	门限深度(m)	门限温度( )	地温梯度( / 100m)
0 .44	2 200	93	3 .6

根据门限深度,沙四上、沙三下亚段最早在东营组沉积末期和馆陶组沉积初期已进入生油门限,并进一步演化、成熟、运移和聚集,除早第三纪东营运动使生烃作用中断外,这个过程一直持续到现在。目前,沙三、沙四生油层大部分已进入到高成熟演化阶段。中央隆起带沙三段生油层埋深一般为 2 250m 以下,均进入凹陷的成熟生油门限深度。说明生油层中的绝大部分进入成熟阶段,一小部分已进入较高成熟阶段。勘探结果表明,中央背斜带沙三段生油层内 2 298 .4 ~ 3 248 .8m 发现了大量原生油气藏,即生油岩内的薄层透镜状砂体含油,证实了这种认识的正确性。

## 2. 储集层

中央隆起带第三系自下而上共发育 6 套储集层,沙三段、沙二段、沙一段、东营组;上第三系为馆陶组、明化镇组。

下第三系储集层大致可分为三角洲砂岩体、河流相砂岩体及冲积、洪积砂、砾岩体等。上第三系储集层岩性多为河流相砂、砾岩,部分为冲积、洪积砂、砾岩体及席状砂体。第三系储集层中探明石油储量和天然气储量分别占总储量的 89% 和 100%。

### 3. 盖层

东营凹陷有两类重要的盖层:阻挡油气运移的区域性盖层和封闭油气聚集的局部性盖层。此外,在凹陷中央超压封闭亦可作为局部盖层。

(1) 区域性盖层。东营凹陷发育良好的区域性盖层主要为沙一段。沙一段厚度一般 200~300m,最厚达 400m,是以还原相泥岩为主的湖相沉积,埋深 1 500~2 200m。沙一段盖层主要封闭了稀油油气藏(李春光,1991;郑和荣等,1996)。此外,东营组上部泥岩段,明化镇组粘土质岩为主的地层也具有区域性盖层的功能(胜利油田石油地质志编写组,1993)。

(2) 局部性盖层。本区沙二段、三段湖相泥岩和三角洲平原相的泥岩段是较好的局部性盖层。局部性盖层可理解为形成有效圈闭的必要组成部分。在以往的研究中,人们注意了顶部盖层的重要性,然而对复杂的圈闭而言,则需要的是多盖层圈闭,也就是说要进行三维的“圈闭”分析。

(3) 特殊盖层。Magara(1993)压力封闭的概念告诉我们存在着一类特殊的盖层——具欠压实的或高压、超高压的泥岩、页岩盖层。而 Heum(1996)更具创建性地提出了“动态盖层”——受流体动力条件的影响。这些观点对本区的盖层研究有重要的参考价值。本区沙三中下亚段烃源岩异常高压层可能成为本区局部性的一类特殊盖层。

### 4. 输导系统

(1) 断层运移通道。断层在油气运移聚集中的双重性在复杂断块区表现得最明显。没有断层的开启和封闭作用的转化,就不可能形成纵向上长达上千米、数十至上百个油气藏沿断层叠瓦式分布的局面。断层的发生和活动时期不同,对油气运聚的作用也不同。

以断块油气藏为主体的复式油气聚集带,油气藏的形成、破坏和再形成与断裂作用紧密相关,断裂是控制油气运聚和散失的主导因素。断层作为油气纵向运移的通道,对多层系叠瓦状展布油气藏的形成起了重要作用。多期断裂活动导致油气多次聚散,而每一次又是突发式的。在断层活动期间,油气沿断裂垂向运移、再分配,造成油气性质分异。而当构造运动结束,进入构造平缓期后,多数断裂逐渐失去通道性。当构造运动较强烈时,地应力作用于地下流体,使流体沿断层快速向上运移。当注入到适当的地方,构造活动渐趋平缓,流体沿断层纵向运移基本结束。注入到储集层中的流体在重力的作用下开始分异,形成油藏或油气藏。因此,流体沿断裂的运移呈间歇性。

油、气、水沿断裂运移而无序进入不同储集层,从而出现含油气井段长,油、气、水层间互,圈闭充满系数低等现象,这与浮力作用下缓慢运移和聚集的油气藏纵向分布规律有明显区别。在东营凹陷中央背斜带,油气沿断层突发式和平缓式运移以及在储集层中的调整运移,致使绝大多数沿断层富集,且纵向上含油气井段长,数十乃至上百个油气藏呈叠瓦状展布。

由于断层封堵性的差异,必然伴随着较大规模的穿越断层的横向运移。断层活动的长期性和多期性使得断层在不同时期和不同层段的封闭性存在差异,导致有些断块区油气高度富集,有些则比较贫乏;有些断块曾富集过油气,后来由于断层活动而部分散失或全部散失。钻井取心显示,东营凹陷中央背斜带地区许多沙河街组厚层砂岩为油浸砂岩,在其上倾方向靠断层部分往往为油层。这种现象说明原来整个储集层充满石油,后来由于断层活动,封闭性发生变化,使圈闭中的油气部分散失或全部散失。而散失的油气有可能向上运移到浅层形成次生油藏。

中央隆起带纵向上含油层系众多,含油气井段长。由于上第三系及下第三系东营组不具备生油气条件,沙一段烃源岩不成熟,不能在這些地层中形成原生油气藏。因此沙一段以上油

气藏显然是深部烃源岩中的成熟油气或原生油气藏破坏后,沿断裂向浅层运移形成的。某些断层附近高矿化度地层水的出现,也说明深部流体确实发生过沿断层的向上运移。

(2) 砂岩运移通道。沙三上一馆陶组三角洲和河流相发育,因而砂层数目很多,延伸范围广泛。不同类型砂体的储集性能各有差异,但其孔隙半径和喉道半径所引起的毛细管阻力与油气在泥岩中运移所受到的阻力相比要小得多,因此砂体是油气运移的良好通道。油气进入砂体后,以水—烃两相流体形式沿砂体向低势区砂体运移,在遇到有利的聚集条件时,便聚集成藏。

中央隆起带周缘发育的东营三角洲砂体,是重要的流体输导通道。沙三中、下段发育了很多浊积砂体,是很好的输导通道和油气聚集的场所。此外,中央隆起带断层构造与沉积作用的相互影响,会促进中央隆起带的翼部个别岩层孔隙的发育,利于流体流动。该类岩层也可作为烃类流体的储层。

## 第二节 中央隆起带圈闭和油气藏

油气藏是石油聚集的基本单元,是具有独立压力系统和统一油水界面的石油聚集的单一圈闭。以圈闭的类型为主要依据进行的油藏类型划分能充分地反映各类油藏的成因及其分布规律,对油藏的勘探也具有较强的指导作用。前已述及,东营凹陷中央隆起带形成是由陈南断裂的重力滑动与塑性地层拱张两种综合作用而形成的背斜带。由于塑性地层分布的范围、厚度的影响,复杂断裂系统的切割作用不同,不仅背斜油藏被断层复杂化,且导致背斜形态差异。

“塑性层拱张背斜型圈闭”这一术语——以背斜为背景的多层结构圈闭——一直被用来描述中央隆起带的油气圈闭/油气藏。这一术语带有圈闭/油气藏组合的意义。圈闭/油气藏组合包括了同一形成机制下的所有圈闭/油气藏的集合。圈闭/油气藏组合可更有效地为远景评价提供依据。基于此,本文划分了3类背斜圈闭组合。对于单个的圈闭样式,本文采用了常用的方案:断层油藏,油层的上倾方向被断层面、断层泥或断层另一侧非渗透地层遮挡;岩性油藏由储集层侧向变化尖灭或物性变化形成圈闭聚集油气而成藏。圈闭组合中将要涉及的圈闭类型有:断层圈闭、褶皱圈闭、透镜状砂体圈闭、砂体上倾尖灭圈闭、断层-岩性圈闭。

### 一、辛镇背斜型圈闭组合

此类圈闭组合是早期形成的塑性构造之上又叠加了晚期的滑脱断层簇及其相伴生的滚动背斜和反向牵引断层簇。断层和塑性层相互作用,塑性物质不断隆升,断层不断活动并衍生出新的断层,从而形成了特色的“包心菜”或“莲花状”断层组合。又可称其为盐拱—滑脱断层—滚动背斜型圈闭组合。这决定了本区圈闭样式的丰富性和复杂性(图6-1)。该类圈闭组合分布在辛镇构造带和郝家构造带。

发育层位主要为沙三下至馆陶组。受膏岩上部滑脱断层簇、滚动背斜和反向牵引断层簇控制,背斜主体以断层圈闭、断层-岩性圈闭为主。其下部膏盐形态一般是向上部拱起的穹状地下丘,平面形态圆形至椭圆形,基底一般近平直,均受到后期滑脱断层的改造。

由于滚动背斜被断层强烈切割,因而缺乏典型的背斜或背斜-断层圈闭,只偶见较小规模的褶皱圈闭。在此类圈闭组合的翼部发育有上倾尖灭砂岩和透镜状砂岩岩性圈闭,局部可能受断层影响。该类圈闭分布在背斜的南北两翼。北翼圈闭中的储集层来自北部陡坡带扇三角

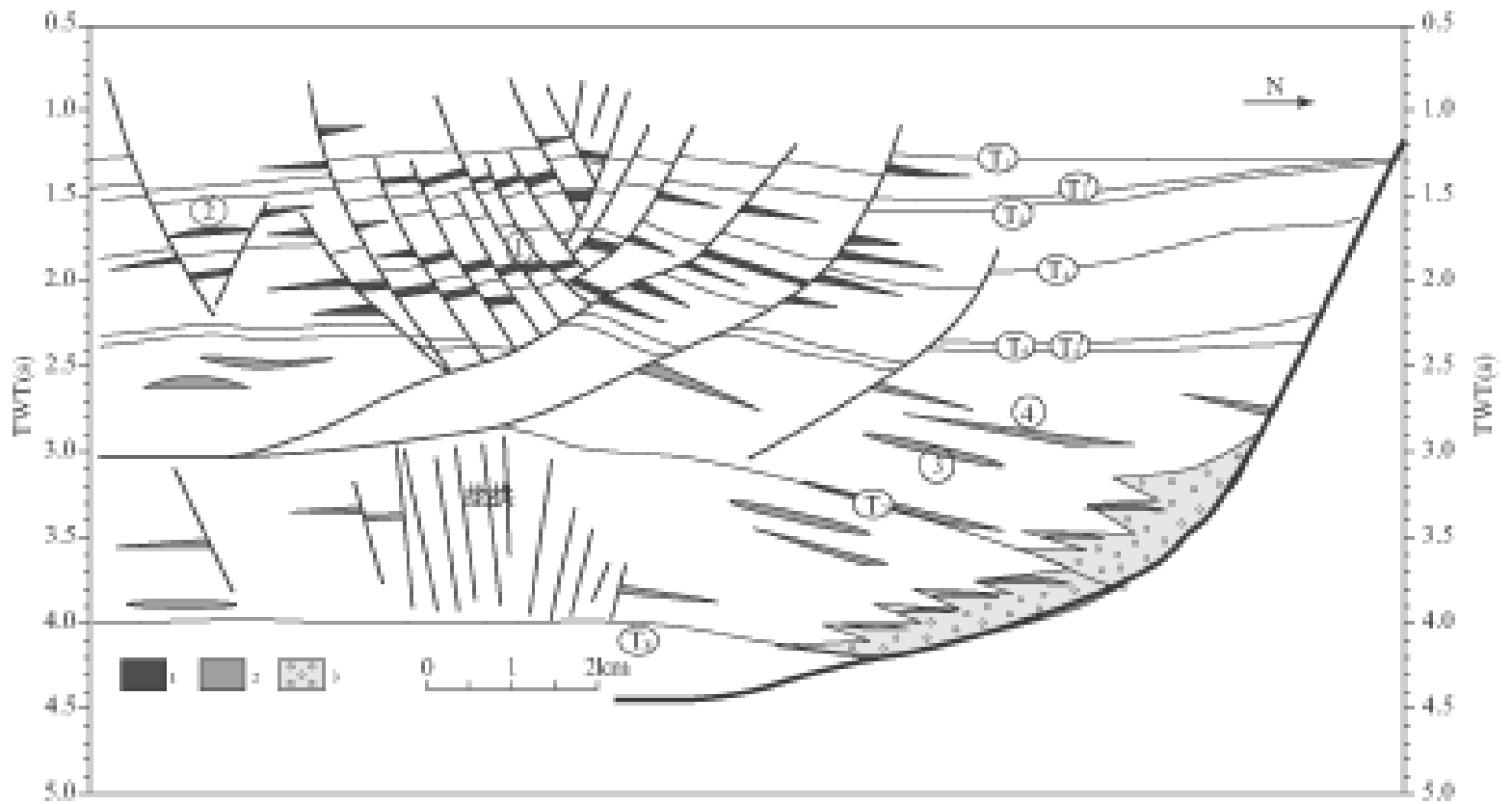


图 6-1 盐拱—滑脱断层—滚动背斜型圈闭组合示意图

断层圈闭；褶皱圈闭；透镜状砂体圈闭；上倾尖灭砂体圈闭；

1. 油藏；2. 预测油藏；3. 扇体

洲前缘的浊流沉积。南翼储集层由南部物源的深水浊流沉积。目前均已有钻井证实圈闭的存在。此类圈闭组合以断层丰富,单个圈闭面积小且各自独立为特征。辛镇构造带最为典型。向南的滑脱断层下盘发育了密集的断层-岩性油气藏,如辛镇构造南翼的辛 133、王 65 砂体,次级滑脱断层与反向牵引断层交切处断层型油气藏很发育。王平等(1993)概括该类圈闭形成的油气藏具有以下特点: 含油层位多,几乎每一个有储集层的部位都有油气层; 由大大小小几十至几百个独立油气藏构成整体呈背斜构造的油气藏; 各油气藏的含油层位、油气富集程度、原油性质、生产能力等差异很大。据蒋有录(1998)的统计,中央隆起带纵向上的 6 套含油气层系中,沙二段和沙三上所含油气分别占全油田总储量的 32.7% 和 34.3%,沙一段占 8.9%。

## 二、东营盐拱背斜-断层簇型圈闭组合

该组合分布在东营构造带,仍以断层圈闭、断层-岩性圈闭为主(图 6-2)。

本区由于盐膏塑性地层差异压实上拱,使其上部地层断裂,断层后期发生了轻度滑脱作用,这样除了导致落差增大(相比辛镇构造带落差很小),并且丰富了断层数量,亦可称其为盐拱-断层簇型圈闭组合。圈闭的发育层位主要包括沙三上一馆陶组。该圈闭组合相似于辛镇构造带的盐拱顶部的组合,但断层数量及落差远不及后者,因而单个圈闭的规模较大,呈现了滑脱断层簇和反向断层簇遮挡的断层油气藏。断层-岩性油气藏在空间上沿断层呈密集的梳状展布。该组合积聚的富的油气。

王宁,东营凹陷中北带沙三、沙四上岩性油气藏成藏机理、富集规律、资源潜力和勘探方向研究. 胜利石油管理局,

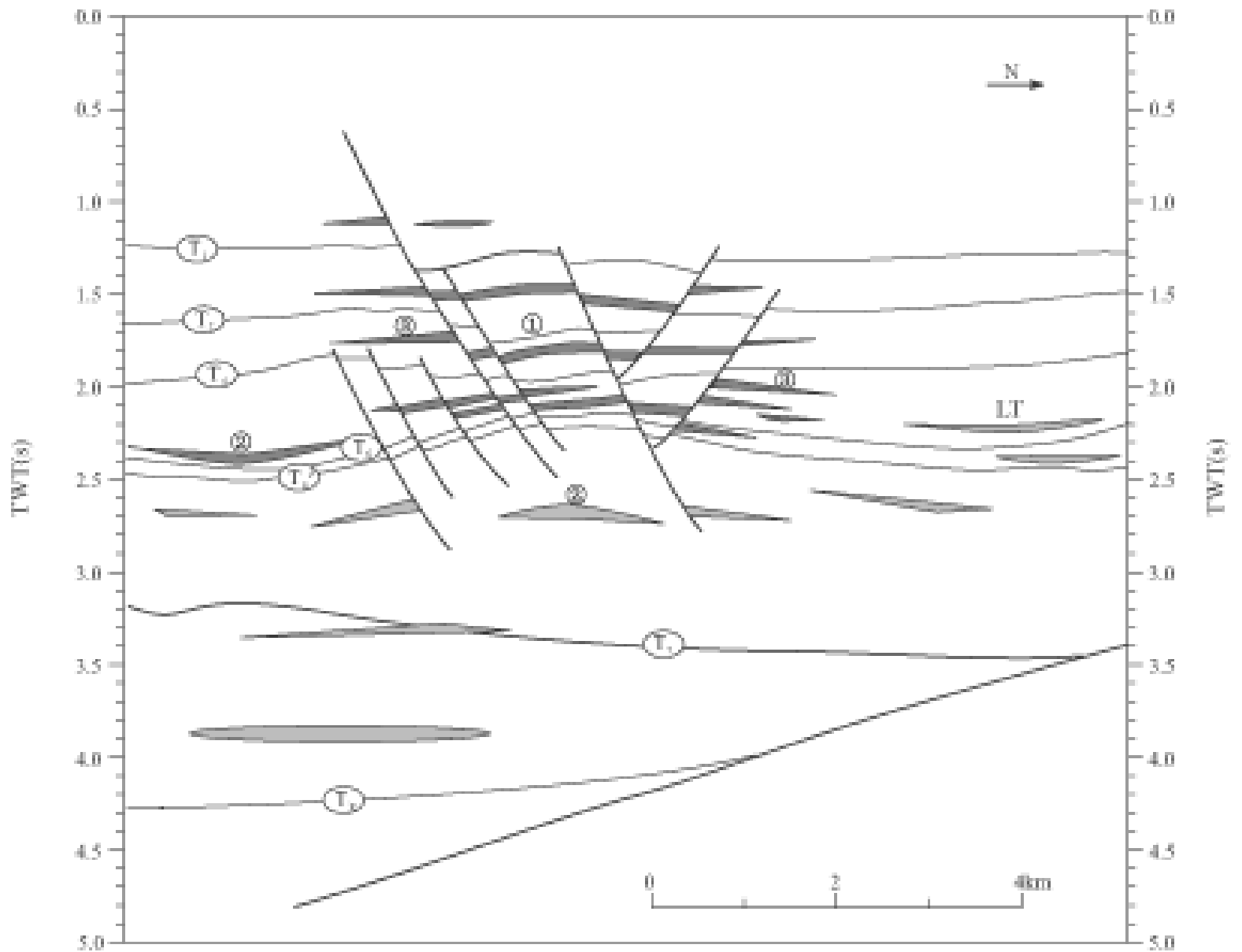


图 6-2 盐拱背斜 - 断层簇型圈闭组合示意图

断层圈闭； 褶皱圈闭； 透镜状砂体圈闭；

在拱顶两翼,发育有沙三中、下和沙四上的岩性圈闭,包括上倾尖灭型和透镜状砂岩岩性圈闭。该类组合与辛镇背斜型圈闭组合的翼部相似。在该组合中已经发现许多油气藏,如位于东营构造北翼的营 6 井和营 2 井沙三中砂岩透镜体油藏。这些油藏一般为高产、异常压力、低饱和度、轻质油油藏。最著名的实例是营 11 沙三中透镜状岩性油藏。该油藏位于东营构造的南翼的一向斜构造中(营 11 洼陷)。砂体面积为  $20.5\text{km}^2$ ,砂岩厚度  $10\sim 15\text{m}$ ,砂体几乎装满油,油藏高度  $374.0\text{m}$ ,它的发现为寻找大型含油砂体提供了典型。

### 三、现河庄盐-泥滚-滑脱断层簇型圈闭组合

中央隆起带现河庄构造中的向北倾的犁式的主滑脱断层(河 125 断层、梁 11 断层)深入到盐-泥层之中,其下盘存在一不对称的三角形的盐-泥滚,顶部向上弯曲,其上地层与其大致整合,因此又称其为盐-泥滚-滑脱断层簇型圈闭组合。

滑脱断层簇和反向牵引断层簇及其相伴生的构造为油气的聚集提供了有利的环境。中央隆起带盐-泥滚-滑脱断层簇型圈闭组合主要发育于梁家楼构造带、史南-现河庄构造带,包括

的主要圈闭类型依然为断层圈闭和断层-岩性圈闭、少数岩性圈闭和背斜圈闭(图 6-3)。发育层位主要为沙三下—东营组。受反向牵引断层簇的控制,其圈闭一般发育在浅部沙三段之上。值得一提的是,该类圈闭中以沙三中的断层圈闭和断层-岩性圈闭最具特色,代表性的有现河庄油田、史南油田和梁家楼油田沙三段断层-岩性油气藏。这些圈闭中储集层为浊积砂体。受滑脱断层簇控制,形成了一系列旋转断块,形成的油藏是充满度高的超压油藏。

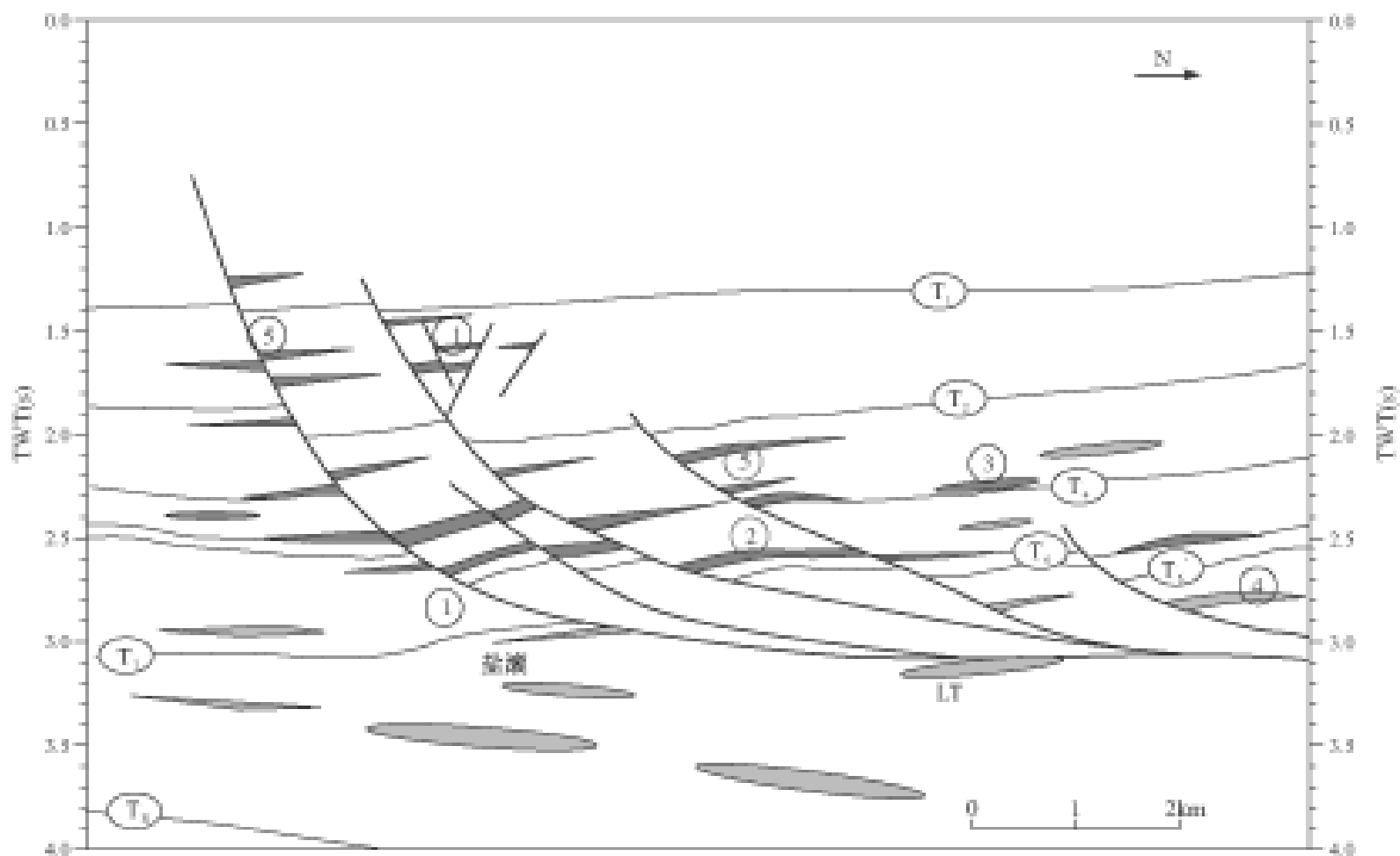


图 6-3 盐-泥滚-滑脱断层簇型圈闭组合示意图

断层圈闭; 褶皱圈闭; 透镜状砂体圈闭; 上倾尖灭砂体圈闭; 断层-岩性圈闭

图 6-4 所示的梁家楼油田的沙三中水下扇油气藏组合就是滑脱断层控制的。张敦祥等(1990)通过有机地球化学分析表明,砂岩储层的原油来自其周围的生油岩,经直接运移后形成油气藏。李春光(1997)认为这些原生(先成)油气藏被后期断裂切割成阶梯状的断块,使部分油气在原储层的新断块圈闭中进行再运移和聚集而成为多断块残留油气藏。显然,这类砂体尚起到油气输导通道的作用。

综上所述,这些圈闭绝大多数都聚集了油气而成为油气藏。基于此,可划分出盐拱—滑脱断层簇—滚动背斜型油气藏组合、盐拱背斜—拱顶断层簇型油气藏组合、盐滚—滑脱断层簇型油气藏组合。它们与实际的油田是一一对应的,为了叙述简便和增强形象性,分别可用代表性的油田命名为辛镇型(辛镇油田、郝家油田)背斜型油气藏组合、东营型(东营油田)盐拱背斜—断层簇型油气藏组合、史南-现河庄盐滚-滑脱断层簇型(史南油田、现河庄油田和梁家楼油田)油气藏组合。

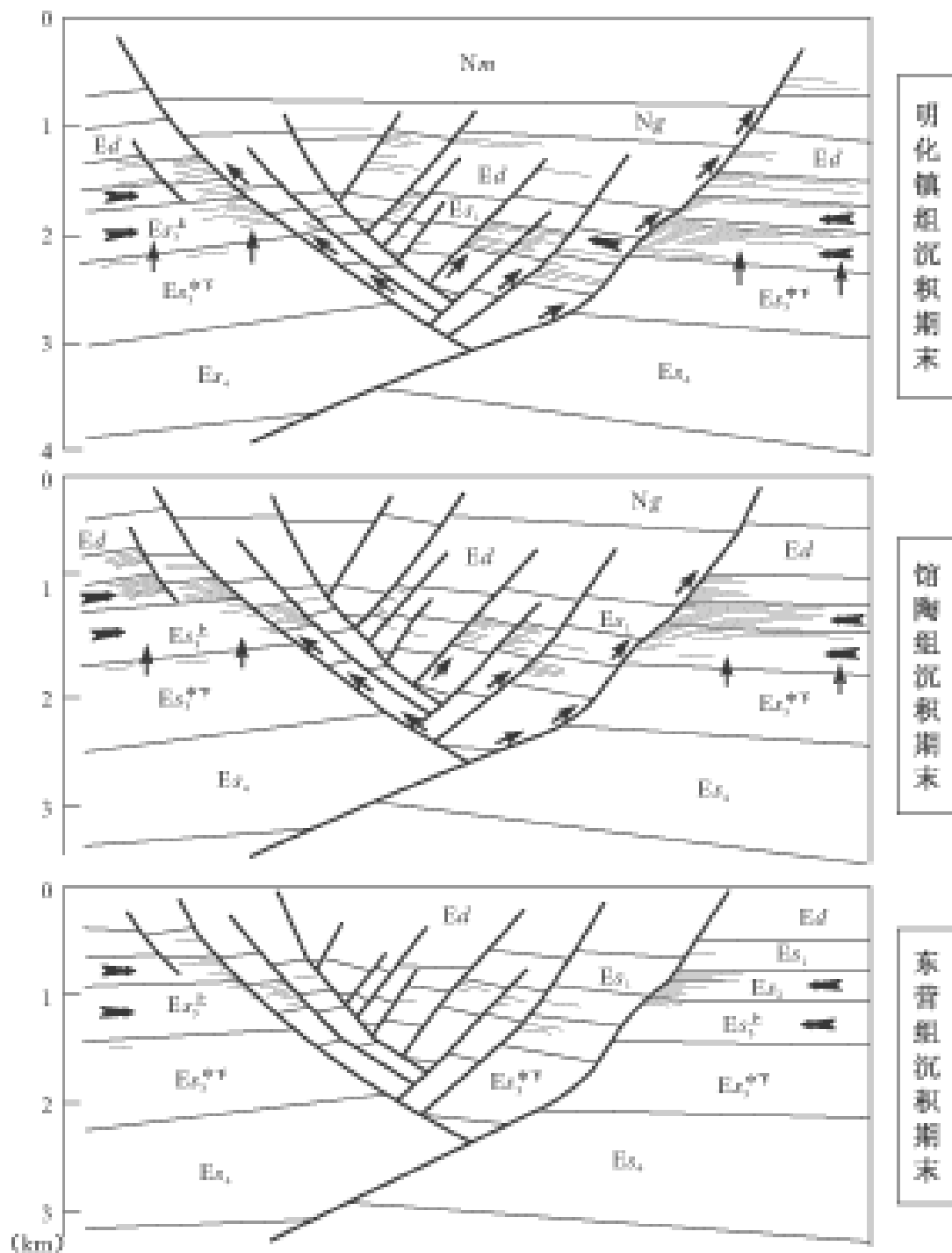


图 6-4 东营凹陷中央背斜带成藏模式图

### 第三节 中央隆起带流体动力系统特征及油气运聚模式

#### 一、流体动力系统特征

根据凹陷地层孔隙流体的压力、盐度特征以及流体运移动力和样式,本文划分出两个流体动力系统:超压流体动力系统,静水压力流体动力系统。

##### 1. 超压流体动力系统

(1) 赋存层位。本系统包括了孔店组一段—沙河街组三段中亚段的大部分。其主体为沙三中、下和沙四上一孔店组一段的烃源岩。

(2) 压力状态。对应超压系统。压力过渡带( $1.0 < p < 1.4$ )为渐变式,宽度(厚度)较大,一般包括了沙三中的上部分。超压( $p > 1.4$ )以沙三中、下和沙四上的烃源岩为主体,一些地区的压力系数达到了  $1.7 \sim 1.9$ 。

(3) 盐度。以高盐度为特征,大部分流体盐度大于  $100\text{g/L}$ 。个别区域,如洼陷中心,盐度较低。

(4) 流体运移动力、运移途径和趋势。以压力驱动为主导动力。超压为流体活动和油气运移提供动力。Spencer(1987)指出传统水动力学概念和模型通常不适用于超压地层。超压地层的油气趋向于从高压流向低压。本文认为压力驱动是超压系统内驱动流体运移的主导动力。只有当压力封闭被突破之后,在压力释放的同时,压力驱动才变成流体活动的动力。

流体向外的运移包括了主动和被动的超压释放,前者表现为断层的开启和水力压裂微裂隙的形成。超压释放是一个破裂—释放—愈合反复的过程,呈现了幕式特征。此外,正如解习农等(1997, 1998)指出的幕式的超压释放过程也会导致幕式压实作用。因而该系统内部局部会出现幕式的压实驱动流。

在超压系统内部压力梯度恒定的前提下,系统内部流体的运移很可能依靠超压流体的盐度差。因此超压高盐度流体动力系统内部,还存在密度驱动的流体运移活动,表现为高盐度的流体不断向低盐度的流体扩散。

## 2. 静水压力流体动力系统

前已述及,由于中央隆起带孔店、沙四时期膏岩、盐岩的发育,导致流体中盐度的变化,含盐流体发生别具特色的流动。因此在静水压力系统中又可分为静水压力含盐流体动力系统和静水压力淡水流体动力系统。

(1) 静水压力含盐流体动力系统。 赋存层位。本系统包括了沙三上一沙二段的大部分地层,及东营组局部。主体以三角洲前缘和河流相为主,储层发育。 压力状态。常压系统,局部因超压流体的注入作用,即超压传递,而形成一些储层超压,一般压力系数为 1.3 ~ 1.4。 盐度。原始水盐度较低,后期浓缩对盐度提高的贡献微弱。盐度主要来自深部超压高盐度流体,这些高盐度流体主要分布在断裂带附近。因此本系统以中盐度为主,盐度一般为 35 ~ 100g/L,个别大于 100g/L。 流体运移动力、运移途径和趋势。压力驱动已经减弱,局限在断裂带附近。由于深部沿断裂上升的含盐流体与地层孔隙流体间存在较高的盐度差,而形成密度驱动或浓度驱动,占主导动力。运移的趋势是指向四周的洼陷区。本系统的压实作用也较强,驱动孔隙流体由洼陷低部位向四周高部位运移,而与高盐度流体汇聚并稀释高盐度流体。因而本系统以沿砂岩输导层和不整合面的侧向运移占主导。

(2) 静水压力淡水动力系统。 赋存层位。本系统包括了沙一段及以上地层。 压力状态。常压系统,局部呈现低压异常。 盐度。原始水为淡水,受大气降水影响很大,流体盐度普遍小于 10.0g/L,断裂带及盆地基底不整合面附近盐度较高,但一般不超过 35g/L。 流体运移动力、运移途径和趋势。重力驱动占主导。受地形的影响和重力作用,流体沿边界断层、不整合面及砂岩输导层向盆地内部运移,并与上升的深部流体混合。

## 二、油气运聚模式

控油断裂对油气运移的控制作用是指由于断层的存在或断层的活动,增大了油气运移的效率或改变了油气运移的方式和途径,使油气由原来在渗透层或不整合带中缓慢流动转变为以在断裂(带)中快速流动为主的纵向运移以及通过断层的横向运移。断裂对油气运移的控制作用是多方面的,既可以改变运移的方向,输导油气向上或向下或向其他方向运移,也可能促进油气的初次运移或二次运移甚至三次运移。

油气在地层中的连通孔隙或裂缝里,总是从低部位向高部位,从高势区向低势区运移。在这个过程中,断层、不整合面以及连通的砂体成为油气运移的重要通道,三者纵横交错,组成丰富多彩的油气运移网络,为油气最终聚集到圈闭内创造了条件。总体上,本区油气运移存在以

下三种基本模式:

### 1. 侧向运移模式

侧向运移包括两类。第一类为烃源层向内部储层的侧向运移,形成原生油气藏,以重力流浊积砂等岩性油藏为主,因其孔隙压力较周围生油岩低,又具有近水楼台的良好条件,必然是油气初次运移和储集的场所,中央背斜带沙三段岩性油藏也属于这一范畴。第二类为横穿断层面的侧向运移,既包括断层面两侧烃源层向储集层的直接运移,也包括储集层通过断层向另一侧储集层的运移,这种运移方式在本区普遍存在。

### 2. 垂向运移模式

油气直接从深部烃源岩或早期油气藏沿断层运移至较浅层圈闭中聚集成藏。作为油气运移途径之断层有一定的组合模式,且运移的距离不等,一般为 500 ~ 2 000m,主要取决于断层的活动强度以及力学性质等诸多因素。在运移的过程中油气性质均发生显著变化,原油性质变差,即密度增大,胶质与沥青质含量增多,粘度增高,而含蜡量与凝固点降低。中央隆起带沙一段及以上地层形成的油藏主要来源于沙三段烃源岩及沙二段早期油气藏,从流体性质可以看出这一特征。中央隆起带沙河街组原油总体具有“三低一高”的特点:密度小、粘度低、含硫量低、含蜡量高。而其浅层东营组原油具“三高一低”的特点:密度大、粘度高、含硫量高、含蜡量低。原油性质纵向变化规律明显:从下至上原油密度增大、粘度增高、含硫量增高而含蜡量降低。油气沿断层的垂向运移是一种非常重要的运移方式,是导致多层位含油以及多油水系统的重要原因。

### 3. 阶梯状油气运移模式

实际上是各种类型的侧向运移与垂向运移交替的复杂运移方式。此种运移方式在块断盆地中分布极为广泛,在油气藏的形成中占有主导地位。

上述三种基本的油气运移模式和途径还可能组合成丰富多彩的式样,为本带多产层、多油气藏类型的构成,提供了重要的条件。

## 第四节 中央隆起带油气成藏模式

油气藏的形成在宏观上受中央隆起带构造背景控制,凹中隆的构造背景和断裂对油气运移和聚集的重要性,东营凹陷中央背斜带处在最有利的油气聚集带,油气纵横向运移都很活跃。一方面,洼陷区的油气通过连通的储集体向本区大规模侧向运移,在运移过程中,生油层系内部的储集体若与周围泥岩之间具备一定的压差和遮挡条件,可在其中聚集油气,形成沙三段岩性油气藏。但大部分油气首先在距洼陷近的构造翼部断块区富集,或者穿越断层向构造核部断块区运移聚集,最大横向运移距离可达 20km 以上。另一方面,一些长期活动的二级断层下部可断至油源层沙三中下段、沙四上段,上部断至上第三系明化镇组,成为油气垂向运移通道。这些控制构造发育演化的油源断层,改变了沙三中、下段原生岩性油藏和已被断层遮挡形成的沙三上段、沙二段、沙一段断块油藏的平衡条件,部分油气沿断层向上运移,在浅部上第三系形成次生油气藏,纵向运移距离可达 2 000 ~ 3 000m。

从研究区纵向油气藏的相态分布看,1 900m 以下全为低饱和油藏,中部出现高饱和油藏和油气藏,浅层明化镇组出现纯气藏。这说明本区与渤海湾盆地许多油气聚集区一样,油气同源,天然气以油为载体与油一起沿断层向上运移,在浅部地层聚集成藏。

根据前文研究,本文建立了中央隆起带油气成藏的动力学模式——揭示分别发生在超压

流体动力系统、静水压力流体动力系统中的油气运移和聚集的过程(图 6-4)。

### 1. 超压 - 垂向运移成藏模式

主要分布在沙四段—沙三中、下段自源原生型成藏模式,油气来自本层系,一次聚集成藏;本系统以有效烃源岩、流体超压和高盐度为特征。油气初次运移以异常压力排烃模式为主。油气以间歇式或脉动式混相涌流,再以同样方式压裂储层或开启断层,进行运移。在超压的烃源岩内部形成透镜状砂体的岩性油气藏,在背斜的翼部和斜坡区形成上倾尖灭型高压岩性油气藏,在靠近断层处形成断层-岩性型高压油气藏。

### 2. 静水压力 - 侧向运移成藏模式

该成藏模式因分布的区域不同,成藏作用有所不同,在背斜主体的沙三上段—沙一段、东营组油藏,油气来自下部沙三中下段、沙四上段烃源岩,油气藏的形成以一次成藏为主,为原生型油气聚集,以常压、高盐度流体、运移通道和储层特别发育为特征。油气运移动力有浮力驱动和由密度驱动流体流动而形成的水动力驱动,个别区域会有压力驱动(传递超压存在的储层)。油气一般以游离相存在。可形成断层油气藏、断层-岩性油气藏、岩性油气藏(包括透镜状砂体和上倾尖灭油气藏)。

### 3. 静水压力 - 阶梯运移成藏模式

在盆地边缘东营组、馆陶组、明化镇组油藏成藏模式,以静水压力、淡水、气藏和稠油油藏为特征。油气运移以浮力驱动、重力驱动为主,油气沿渗透性砂层和不整合面、断裂(包括盆缘断裂)阶梯式运移。在盆地边缘可形成岩性油气藏以及地层油气藏。

综上所述,中央隆起带油藏成藏经历了如下几个阶段:早第三纪末,洼陷区已形成可供运移聚集的石油。东营运动使东营凹陷整体抬升,生烃中断,但为油气运移创造了条件,油气除经初次运移直接进入烃源岩中的砂体聚集成藏外,也可运移到沙二段连通性较好的储集体中,向地层上倾方向运移。但此时烃源岩尚未全部进入生油门限,能提供的油气数量有限,只能形成少量的油气聚集。因此,本区油气运移聚集虽然开始较早,并在沙三段生油层系和上覆沙二段储集层中形成原生油气藏,但尚不能形成大规模的油气聚集。

晚第三纪,东营凹陷进入整体拗陷阶段。随着馆陶组的沉积,沙三、沙四段烃源岩埋深增大,有机质成熟度继续增高,在大部分地区进入生油门限深度并向油气转化;明化镇组沉积时期,生烃范围及生烃量继续增大,包括中央背斜带在内的广大地区大量生成油气,油气大规模向本区运移聚集。因此,馆陶组沉积末—明化镇组沉积时期是油气主要运移聚集时期(李丕龙,2000)。这一时期随着主干断裂活动的持续进行,原来的油气藏平衡条件改变,油气沿断裂再运移。此时,从烃源岩中排出的油气在沿储层向上倾方向运移的同时,也沿断裂向上运移聚集,大量东营组、馆陶组、明化镇组油藏形成于此期。一些活动结束时间较晚的二级断层成为油气纵向运移的重要通道。

# 结 论

中央隆起带是东营凹陷最重要的含油气构造。研究中央隆起带的构造特征、形成演化,断层与油气运移和聚集的关系,具有重要的理论意义和实践意义。本文研究工作以全球板块构造的活动理论、地质历史发展的阶段性和事件性、多旋回成盆和多旋回构造反转等基本理论观点为指导,运用现代构造地质学和盆地分析的新概念、新方法和新技术手段,将构造几何学、运动学和动力学相结合来研究和揭示东营凹陷中央隆起带的构造格架、形成机制和演化过程,将岩性配置、时间配置、产状配置、泥岩沾污因子分布状况、断层活动状况、断层力学性质等相结合来研究和揭示控油断层的封闭和开启性、建立封闭开启模式。研究和揭示主要控油断层封闭史,及其与油气聚集的关系。应用成藏动力学研究思路,揭示了中央隆起带复杂的断裂带对油气运移和聚集的动力作用和作用机制,建立了中央隆起带的流体成藏模式。

(1) 在东营凹陷三级层序格架研究的基础上,定量和动态模拟了东营凹陷的拉伸沉降过程。确定了边缘断裂的活动速率和规律,确定了盆地拉伸率及其在区域上的变化,为盆地同沉积断裂与充填序列的关系和同沉积断裂对沉积体系控制作用的研究提供了基础。根据盆地充填特征、古构造运动面和沉降史模拟,精细地划分了盆地构造演化阶段,在早第三纪裂陷期划分了四个裂陷幕,即孔店沉积期早期的初始裂陷幕、沙四段沉积期的晚期初始裂陷幕、沙三段及沙二段下部沉积期裂陷伸展幕、沙二段上部及东营组沉积期裂陷收敛幕;在上第三纪裂后期划分出裂后热衰减沉降幕及加速期沉降幕。上述六个沉降幕分别与 级层序地层单元相吻合。

(2) 研究了东营凹陷中央隆起带的构造特征;通过对典型地震剖面的解释及和研究区构造图的分析,利用相干分析、属性分析等手段,精细解释中央隆起带构造,包括断层剖面组合、平面组合、次序、切割关系等,分析研究了其构造特征,归纳总结中央隆起带的断裂特征,断层的分布具有东多西少,大断层少(二级断层 5 条),小断层多(四级断层 346 条)的特点,根据断层剖面特征及空间展布规律,将中央背斜带划分为构造特征明显不同的三个构造带,东段为辛镇构造带和新立村构造;西段又分为两支,南支为梁家楼—现河构造带;北支为东营—郝家构造带。

(3) 从盆地构造动力学研究入手,揭示了中央隆起带形成的动力学背景特征,提出东营凹陷中央隆起带是伸展、走滑和应力场转换作用的产物;在局部地区还伴生了断裂的逆牵引作用和塑性层拱张共同作用,研究认为影响中央断裂带的主要地质力学因素有两个方面: 中央隆起带最初的形成取决于陈南断层的重力滑动作用; 中央断裂带深部存在盐体上隆;从而形成现今复杂的构造面貌。

(4) 通过做模拟实验进一步研究中央隆起带的形成机制,模拟结构表明纯粹的底辟构造过程和底辟延长平面有限伸展过程不能反映中央隆起带发育过程,只有底辟与侧向伸展过程,即底辟与断裂重力滑动作用的联合更符合实际,且这些形成机制在时间上不是孤立的,而是相互作用的。

(5) 结合构造剖面发育史图的制作,揭示了中央隆起带的发育过程,是由区域应力场的不同

断转变以及膏、泥岩的塑性上拱等应力作用时空的差异性,使得研究区的构造演化极为复杂,总体来说其演化经历了沙四段雏形期、沙三段和沙二段为主要发育期以及东营组时期为最后定型期三个阶段,终成现今之面貌。

(6) 利用了声波时差测井曲线和实测地层压力资料,在编制单井、剖面和平面上压力系统结构图的基础上,概括出中央隆起带的压力系统平面上呈环带状分布,与断层的分布相吻合,且中央隆起带断层对压力系统产生了深刻的影响,强烈分隔了超高压系统。

(7) 通过对中央隆起带流体盐度参数特征的研究,总结出高盐度异常沿主要断裂带展布的规律,在纵向上,随埋深增大,地层水矿化度有规律增大,2 000m 以下增大速率较快,一般大于 30 g/L,最高可达 350 g/L。上第三系较低,小于 10g/L。提出沙河街组四段上亚段—东营组的高盐度流体,是超压高盐度流体沿断层运移和注入的结果。

(8) 对中央隆起带流体的现今压力场、温度场、盐度参数的研究,揭示了中央隆起带油气运移的动力背景及油气成藏过程流体活动特征,从压力与盐度关系的角度认识了断层封闭和开启双重性。在断裂系统演化史分析与断层封闭性研究基础上,探讨区内营 8 断层、河 125 断层、民丰断层几条主断裂带与油气聚集的关系。

(9) 在中央隆起带油气藏形成条件分析的基础上,提出断裂是中央隆起带油藏形成的关键因素,分析断裂及下部塑性膏 - 盐 - 泥层直接参与圈闭的形成和演化,提出中央隆起带的油气圈闭包括:辛镇背斜型圈闭组合、东营断层簇型圈闭组合、现河背斜型圈闭组合。

(10) 根据凹陷地层孔隙流体的压力、盐度特征以及流体运移动力和样式,本书划分出两个流体动力系统:超压流体动力系统、静水压力流体动力系统,厘定出中央隆起带油气运移的三种模式:侧向运移模式、垂向运移模式、阶梯状油气运移模式;在此基础上,建立了中央隆起带的流体成藏三种模式:超压 - 侧向运移成藏模式、静水压力 - 垂向运移成藏模式、静水压力 - 阶梯运移成藏模式。

# 致 谢

本书是在中国地质大学、胜利石油管理局、大庆石油学院各方面专家和同事们的大力支持下、帮助和指导下完成的,在此笔者一并致以衷心的感谢!

当我完成了我的博士学位论文,回想起我三年来在中国地质大学学习、工作和生活的经历,我的心情久久难以平静!严谨的地大学风、亲切的师长教诲、亲人学友温暖的关怀,这一切将永远地留在我的记忆中,成为我用之不竭的财富和幸福自豪的回忆。

感谢我的导师——解习农教授,作为一名学者,解老师那广博的知识素养,谨严的治学态度、饱满的工作热情和乐观的工作精神,为人师表的风范和创新求实的探索精神,将使我受益终生。

感谢沉积盆地所的全体老师们,在我三年的学习和工作时间里,他们尽可能多地给予我学习和生活的关怀和帮助。他们广博的理论素养、在科研工作中所凝结的团结合作、勤奋刻苦、锐意进取的科学精神深深地感染着我,必将成为我日后效仿的楷模。

最后,我还要向一贯支持我完成学业的妻子表示深深的谢意。

## 参 考 文 献

- 陈发景,江新文,张光亚等.中国中、新生代含油气盆地构造和动力学背景.现代地质,1992,6(3):317~327
- 陈荷立,汤锡元.山东东营凹陷泥岩压实作用及油气初次运移问题探讨[J].石油学报,1983,4(2):9~16
- 陈景达.板块构造大陆边缘与含油气盆地(第1版)东营:石油大学出版社,1989,87~120
- 池际尚.中国东部中新生代玄武岩及上地幔研究.(第1版).武汉:中国地质大学出版社,1990,10~30
- 戈红星,Jackson M P A.盐构造与油气圈闭及其综合利用[J].南京大学学报,1996,32(4):640~649
- 郭令智,施央申,马瑞士.西太平洋中、新生代活动大陆边缘和岛弧构造的形成及演化.地质学报,1983,57(1):11~21
- 胡济世.异常高压、流体压裂与油气运移(上)[J].石油勘探与开发,1989,16(2):16~23
- 胡济世.异常高压、流体压裂与油气运移(下)[J].石油勘探与开发,1989,16(3):16~23
- 解习农,刘晓峰,胡祥云等.超压盆地中泥岩的流体压裂与幕式排烃作用[J].地质科技情报,1998,17(4):59~64
- 解习农,刘晓峰.超压盆地流体动力系统与油气运聚关系[J].矿物岩石地球化学通报,2000,19(2):103~108
- 解习农,王其允,李思田.沉积盆地低渗岩石的水力破裂与幕式压实作用[J].科学通报,1997,42(20):2193~2195
- 解习农等.断裂带流体作用及动力学模型.地学前缘,1996,3(3),145~151
- 康永尚,郭黔杰.论油气成藏流体动力系统.地球科学——中国地质大学学报,1998,23(3):281~284
- 康永尚,湛卓恒,金之钧.含油气系统油气成藏动力学[C].见:中国石油学会石油地质专业委员会.中国含油气系统的应用与进展.北京:石油工业出版社,1997.1~307
- 康永尚,张一伟.油气成藏流体动力学.北京:地质出版社,1999,1~120.
- 李春光.试论东营断陷盆地区域盖层对油气藏分布控制[J].石油与天然气地质,1991,12(1):65~70
- 李春光.试论东营盆地高压油气藏的特征及找油意义[J].石油学报,1992,13(1):37~43
- 李德生.中国东部新生代盆地与油气分布.地质学报,1983,57(3):224~233
- 李四光.地质力学概论.北京:地质出版社,1973
- 李筱瑾.东营凹陷地质构造问题研究.复式油气田,1997,1:52~57
- 李志明等.地应力与油气勘探开发.北京:石油工业出版社,1997
- 刘国栋,史书林,王宝均.华北地区壳内高导层及其与地壳构造活动的关系.中国科学(B辑),1984,14(9):839~848
- 刘和甫.沉积盆地地球动力学分类及构造样式分析.地球科学,1993,18(6):699~724
- 刘和甫.伸展构造及其反转作用.地学前缘,1995,2(1):113~124
- 刘和甫.中国沉积盆地演化与旋回动力学环境.地球科学,1996,21(4):345~356
- 刘剑平,汪新文,周章保,陶国强,文绵良.伸展地区变换构造研究进展.2000,19(3):27~32
- 刘兴材等.场势作用与复式油气区的形成.复式油气田,1996,(4):1~3
- 刘泽容等.复杂断块群油藏形成机制和构造模式.北京:石油工业出版社,1998
- 卢焕章.成矿流体[M].北京:北京科学技术出版社,1997,1~120.
- 罗群,孙宏智.断裂活动与油气藏保存关系研究.石油实验地质.2000,22(3):225~231
- 马杏垣.中国东部中新生代裂陷作用和伸展构造.地质学报,1983,57(3):224~233
- 谯汉生.渤海湾地区异常高压与烃的生成及运移[J].石油勘探与开发,1985,12(3):1~4.
- 胜利油田石油地质志编写组.中国石油地质志(卷六)——胜利油田[M].北京:石油工业出版社,1993,1~518
- 孙向阳,解习农.东营凹陷地层水化学特征与油气聚集关系[J].石油实验地质,2001,23(3):291~296
- 孙雄等.构造应力场对油气运移的影响.石油勘探与开发,1998,25(1):1~3

- 任建业,张青林.东营凹陷中央背斜隆起带形成机制分析[J].大地构造与矿床学,2004,28(3):254~262
- 王秉海,钱凯.胜利油田地质研究与勘探实践[M].山东:石油大学出版社,1992,1~357
- 王鸿祯主编.地球历史的节律-古生物、沉积史、构造史、岩浆史专辑.地学前缘,1997,4(3-4):1~380
- 王明明,谯汉生,胡见义.东营凹陷牛庄-六户地区高压油气藏成因分布[J].石油勘探与开发,1990,17(2):13~20
- 徐嘉伟.中国东部郯庐断裂带构造模式讨论.华北地质矿产志,1995,10(2):121~129
- 杨绪充.济阳拗陷沙河街组区域地层压力及水动力特征探讨[J].石油勘探与开发,1985,12(4):13~20
- 姚益民.中国油气区下第三系(第1版).北京:石油工业出版社,1994.1~76
- 叶加仁,杨香华,孙永传等.歧南断阶带温度压力场研究[J].中国海上油气(地质),1997,11(3):161~167
- 曾溅辉,郑和荣,王宁.东营凹陷岩性油气藏成藏动力学特征[J].石油与天然气地质,1998,19(4):326~329
- 张金功等.异常超压带内开启泥岩裂隙的分布与油气初次运移.石油与天然气地质,1996,17(1):27~31
- 张树林,田世澄,朱水安等.南堡凹陷的断裂构造与油气三次运移.石油与天然气地质,1996,17(4):262~267
- 张树林等.裂谷盆地的断层封闭类型.地球科学,1995,20(3):250~255
- 张煜等.中央隆起带东营组泥岩沾污因子与断层封闭性关系探讨.石油勘探与开发,2000,27(6)
- 赵永祺等.复杂断块油藏断层封闭性研究.断块油气田,1996,3(1):21~25
- 赵重远.渤海湾盆地的构造格局及其演化.石油学报,1984,5(1):1~7
- 郑和荣,王宁,于建国等.东营凹陷中北部沙三、沙四上亚段岩性油气藏研究.见:潘元林编.油气地质地球物理综合勘探技术.北京:地震出版社,1998.1~263.
- 中国油气聚集与分布编委会:中国油气藏研究,北京:石油工业出版社,1990
- 中国油气聚集与分布编委会:中国油气聚集与分布,北京:石油工业出版社,1991
- 钟宏平等.含油气盆地断层封闭研究进展综述.地质科技情报,1991,10(2):368~372
- 钟宏平等.含油气盆地断层封闭研究进展综述.地质科技情报,1991,10(2):51~55
- 朱夏.论中国含油气盆地(第1版).北京:石油工业出版社,1986.1~245
- 宗国洪.济阳拗陷构造成藏模式与油气成藏研究.南京大学博士学位论文,1997
- anor J S.盆地卤水化学成分的一级控制因素[J].地质科技情报,1994,13(1):60~64.
- Magara K 著.赵天财译.压力封闭:油气圈闭的一种重要因素.国外油气勘探,1994,6(1):38~45.
- Allan U S. A model for migration and entrapment of hydrocarbons. AAPG Research Conference on seals for hydrocarbons, Keystone Colorado, 1980
- Allan U S. Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures. AAPG Bulletin, 1989, 73(7): 803~811
- Alsop G I, Blundell D, Davison I. Salt tectonics [M]. Geological Society Special Publication, 100. London: The Geological Society, 1996, 1~303
- Berg R R, Habeck M F. Abnormal pressures in the Lower Vicksburg, McAlten Ranch field, south Texas [J]. Gulf Coast Association of Geological Society, Transactions, 1983, 32:247~253
- Bethke C M, Reed J D, Oltz D F. Long - range petroleum migration in the Illinois Basin [J]. AAPG Bulletin, 1991, 75(5): 925~945.
- Cartwright J, Stewart S, Clark J. Salt dissolution and salt - related deformation of the forth approaches basin, UK North Sea [J]. Marine and Petroleum Geology, 2001, 18: 757~778.
- Chapman R E. Mechanical versus thermal cause of abnormal high pore pressure in shales: Reply [J]. AAPG Bulletin. 1980, 64: 2 179~2 183
- Coustau H. Formation waters and hydrodynamics [J]. Journal of Geochemical Exploration. 1977, 7: 213~247
- Coward M, Stewart S. Salt - influenced structures in the Mesozoic - Tertiary cover of the U .K. Southern North Sea[C]. In: Jackson M P A, Roberts D G, Snelson S. eds. Salt tectonics: a global perspective.

- AAPG Memoir 65, 1995, 1 ~ 28
- Demercian S, Szatmari P, Cobbold P R . Style and pattern of salt diapirs due to thin - skinned gravitational gliding, Campos and Santos basins, offshore Brazil [J] . *Tectonophysics*, 1993, 228: 393 ~ 433
- Dickey P A, Shiram C R, Paine W R . Abnormal pressure in deep wells of southwestern Louisiana [J] . *Science*, 1968, 160: 609 ~ 615
- Dickinson G . Geological aspects of abnormal reservoir pressures in Gulf coast Louisiana . *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* . 1953, 37(2): 410 ~ 432
- Diegel F A, Karlo J F, Schuster D C, et al . Cenozoic structural evolution and tectono - stratigraphic framework of the Northern Gulf Coast Continental Margin [C] . In: Jackson M P A, Roberts D G, Snelson S . eds . *Salt tectonics: a global perspective* . AAPG Memoir 65, 1995, 109 ~ 152 .
- Downey M W . Hydrocarbon seal rocks . In: Magoon L B, Dow W G, eds . *The petroleum system—from source to trap* . AAPG Memoir 60, 1994, 159 ~ 164
- Fertl W H . Abnormal formation pressures—Implications to exploration, drilling, and production of oil and gas resources . Amsterdam - Oxford - New York : Elsevier Scientific Publishing Company, 1978, 1 - 365
- Gaullier V, Brun J P, Guerin G, Lecanu H . Raft tectonics: the effects of residual topography below a salt décollement [J] . *Tectonophysics*, 1993, 228: 363 ~ 381
- Hafid M . Triassic - early extensional systems and their Tertiary inversion, Essaouira Basin (Morocco) [J] . *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17: 409 ~ 429
- Hanor J S, Sacsen R . Evidence for large - scale vertical and lateral migration of formation waters, dissolved salt, and crude oil [A] . Schumacher D, Perkins B F, eds . *GCSSEPM Foundation Ninth Annual Research Conference Proceedings [M]* . Texas: Earth Enterprises Inc, 1990, 283 ~ 296
- Harding T P . Tectonic significance and hydrocarbon trapping consequence of sequential folding synchronous with San Andreas Faulting, San Joaquin Valley, California . *AAPG Bull*, 1976, 60(7)
- Hongxin Ge, Vendeville B C, Jackson M P A . Salt tectonics in the Dongying and Dongpu depressions, Bohai Bay Basin, China - a new interpretation based on physical modeling results [A] . *International Geological Congress 30, Abstracts, Resumes 30*, 1996, 2: 288
- Hooper E C D . Fluid migration along growth faults in compacting sediments [J] . *Journal of Petroleum Geology* . 1991, 14(2): 161 ~ 280
- Jackson M P A, Talbot C J . External shapes, strain rates, and dynamics of salt structures [J] . *Geological Society of America Bulletin*, 1986, 97: 305 ~ 323
- Jackson M P A, Vendeville B C, Schulz - ela . Salt - related structures in the Gulf of Mexico: A field guide for geophysicists [J] . *The Leading Edge*, 1994 837 ~ 842
- Jackson M P A, Vendeville B C . Regional extension as a geologic trigger for diapirism [J] . *Geological Society of America Bulletin*, 1994, 106: 57 ~ 73
- Jackson M P A . Retrospective salt tectonics [C] . In: Jackson M P A, Roberts D G, Snelson S . eds . *Salt tectonics: a global perspective* . AAPG Memoir 65, 1995, 1 ~ 28
- Knott S D . Fault seal analysis in the North Sea . *AAPG Bull*, 1994, 77(5): 778 ~ 792
- Koyi H, Jenyon M K, Petersen K . The effect of basement faulting on diapirism [J] . *Journal of Petroleum Geology*, 1993, 16(3): 285 ~ 312
- Lee T Y, Lawrer L A . Cenozoic plate reconstruction of Southeast Asia . *Tectonophysics*, 1995, 251: 85 - 138
- Leonard R C . Distribution of sub - surface pressure in the Norwegian Central Graben and applications for exploration [C] . In: Parker J R, eds . *Petroleum geology of Northwest Europe . Proceedings of 4th conference* . 1993, 1 295 ~ 1 303
- Magara K . *Compaction and fluid migration—Practical Petroleum Geology* . Amsterdam - Oxford - New

- York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1978, 1 ~ 313
- Morley C K, Guerin G . Comparison of gravity - driven deformation styles and behavior associated with mobile shales and salt[J] . *Tectonics*, 1996, 15(6) : 1 154 ~ 1 170
- Perrodon A . Petroleum systems models and applications [J] . *Journal of Petroleum Geology*, 1992, 15(3) : 319 ~ 326
- Peters K E, Cassa M R . Applied Source rock geochemistry[J] . In : Magoon L B , Dow W G, eds . *The petroleum system—from source to trap* . AAPG Memoir 60, 1994, 93 ~ 120
- Powley D E . Pressure and hydrogeology in petroleum basins [J] . *Earth Science Reviews*, 1990, 29 (1) : 15 ~ 226
- Rowan M G, Jackson M P A, Trudgill B D . Salt - related fault families and fault welds in the Northern Gulf of Mexico [J] . *AAPG Bulletin*, 1999, 83(9) : 1 454 ~ 1 484
- Sahay B, Fertl W H . *Origin and evaluation of formation pressures* . London: Kluwer Academic Publishers, 1988, 1 ~ 287
- Schuster D C . Deformation of Allochthonous salt and evolution of related salt - structural systems, Eastern Louisiana Gulf Coast[C] . In: Jackson M P A, Roberts D G, Snelson S . eds . *Salt tectonics: a global perspective* . AAPG Memoir 65, 1995, 1 ~ 28
- Sibon R H . Crustal stress, faulting and fluid flow . In: Parnell J (ed) , *Geological Society Special Publication*, 1994, 78 .69 ~ 84
- Smith D A . Sealing and nonsealing faults in Louisiana gulf coast salt basin . *AAPG Bull*, 1980, 64(2)
- Smith D A . Theoretical consideration of sealing and nonsealing faults . *AAPG Bull*, 1966, 50(2)
- Spathopoulos F . An insight on salt tectonics in the Angola Basin, South Atlantic[C] . In: Alsop G I, Blundell D J, Davison D J . eds . *Salt tectonics* . Geological Society Special Publication, 100 . London: The Geological Society, 1996 .153 ~ 174
- Spencer C W . Hydrocarbon generation as a mechanism for overpressuring in Rocky Mountain region [J] . *AAPG Bulletin*, 1987, 71(4) : 368 ~ 388
- Waltham D . Why does salt start to move ? [J] . *Tectonophysics*, 1997, 282: 117 ~ 128
- Withjack M O, Callaway S . Active normal faulting beneath a salt layer: an experimental study of deformation patterns in the cover sequence [J] . *AAPG Bulletin*, 2000, 84(5) : 627 ~ 651
- Xie X, Bethke C M, li S, et al . . Overpressure and petroleum generation and accumulation in the Dongying Depression of the Bohaiwan Basin, China . *Geofluids*, 2001, 1 : 257 ~ 271