

doi:10.12029/gc20220910001

# 南堡凹陷老爷庙构造带断裂特征及其对油气成藏的控制作用

刘海青<sup>1</sup>, 靳鹏菠<sup>1</sup>, 刘景东<sup>2</sup>, 刘华<sup>2</sup>, 邹娟<sup>1</sup>, 陈蕾<sup>1</sup>

(1. 中国石油冀东油田分公司, 河北 唐山, 063004; 2. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛, 266580)

**摘要:**【研究目的】断陷盆地多期断裂叠合发育对油气运移和富集差异至关重要。【研究方法】以渤海湾盆地南堡凹陷老爷庙构造带为例, 基于地质分析和物理模拟实验, 对多期断裂组合样式、成因及其与油气成藏关系进行了研究。【研究结果】结果表明, 老爷庙构造带发育阶梯状、复合“y”型、复合反“y”型等断裂组合, 其形成过程与凹陷边界断层的活动性密切相关, 其中沙河街期-东营早期受北西-南东、近南北向应力场作用, 形成阶梯状断裂组合, 东营晚期-明化镇期叠加晚期断裂, 形成复合“y”型、复合反“y”型等断裂组合。分期异向伸展的离散元数值模拟结果证实, 老爷庙构造带东营组内部大套塑性泥岩层的存在是导致深层与浅层变形差异及断裂垂向叠置的关键物质因素。【结论】多期断裂叠合对油气成藏具有重要控制作用, 其中早期断裂控制凹陷和构造带的形成, 晚期断裂控制圈闭发育和油气运移, 断裂组合样式的差异决定了油气富集层系差异。

**关键词:** 多期断裂叠合; 构造样式; 数值模拟; 油气成藏; 老爷庙构造; 南堡凹陷; 油气勘查工程

**创新点:** 早、晚期的异向伸展作用造成不同断裂样式叠合发育, 多期断裂叠合控制油气运移和聚集。

## Characteristic of faults and its control on hydrocarbon accumulation in Laoyemiao structural belt, Nanpu Depression

LIU Haiqing<sup>1</sup>, JIN Pengbo<sup>1</sup>, LIU Jingdong<sup>2</sup>, LIU Hua<sup>2</sup>, ZOU Juan<sup>1</sup>, CHEN Lei<sup>1</sup>

(1. Jidong Oil field Company, PetroChina, Tangshan 063004, Hebei, China; 2. China University of Petroleum (East China), School of Geosciences, Qingdao 266580, Shandong, China)

**Abstract:** [Objective] The superimposed development of multistage faults is very important to the difference of hydrocarbon migration and accumulation in faulted basins. [Methods] Taking Laoyemiao structural belt in Nanpu Depression, Bohai Bay Basin as an example, the fault assemblage style and its origin, the relationship between fault system and oil and gas reservoir formation were studied based on geological analysis and physical simulation experiment. [Results] The results show that Laoyemiao structural belt developed fault combinations of "ladder" type, "domino" type, compound "y" type, compound anti "y" type. The formation of fault combinations is closely related to the boundary of the fault activity, in which "ladder" type and "domino" type fault combinations formed by the northwest - southeast and nearly north - south direction stress fields in Paleogene, while compound "y" type and anti "y" type fault combinations formed because of late superposition of fracture in Minghuazhen period. The discrete element numerical simulation results show that the existence of large plastic mudstone layers in Dongying Formation is the key material factor leading to the difference of deep and shallow deformation and vertical superposition. [Conclusions] Multistage fault superimposition plays an important role in controlling hydrocarbon accumulation: early faults control depressions and structural belts, late faults control traps and hydrocarbon accumulation, and fault assemblages affect hydrocarbon enrichment strata.

**Key words:** Multistage fault superposition; structural style; numerical simulation; hydrocarbon accumulation; Laoyemiao structural belt; Nanpu depression; oil-gas exploration engineering

**Highlights:** The early and late anisotropic extension can cause the overlapping development of different fault styles, and the overlapping of multi-stage faults control the migration and accumulation of oil and gas.

**About the first author:** LIU Haiqing, male, born in 1980, senior engineer, mainly engaged in petroleum geological exploration and research work; E-mail: liuhaiqing2007@petrochina.com.cn

**Fund Support:** Supported by the National Science and Technology Major Project (No. 2016ZX05006-006).

**基金资助:** 国家科技重大专项 (2016ZX05006-006)。

**作者简介:** 刘海青, 男, 1980年生, 硕士, 高级工程师, 从事油气地质勘探研究工作。E-mail: [liuhaiqing2007@petrochina.com.cn](mailto:liuhaiqing2007@petrochina.com.cn)。

## 1 引言

含油气盆地构造对油气成藏的控制作用一直是油气勘探开发面临的关键问题之一（邓运华，2001；徐守余和严科，2005；漆家福等，2013；滕长宇等，2014；余海波等，2020），其中断裂是含油气盆地构造研究中的核心内容，其中在裂陷盆地中尤其重要（Contreras et al., 2000；Depolo and Anderson, 2000；Morley, 2002；徐子英等，2020）。裂陷盆地中的断裂发育演化往往受多期区域应力场的影响，形成复杂的断裂构造样式和平面组合（Gawthorpe and Leeder, 2000；Goldsworthy and Jackson, 2001），特别是在区域应力场变化十分明显的情况下更容易形成叠加断裂。所谓叠加断裂，往往是指一种纵向上先存断裂与晚期断裂之间相互影响、改造的叠合系统，其形成机制在于两套地质力学层之间的强度差异及应力状态的改变（冯建伟等，2017）。大量研究表明，断裂性质、组合样式及断裂演化等对油气运移、聚集具有重要的控制作用（龚再升等，2007；蔡华等，2014；吴孔友等，2021；范赛华等，2022），尤其是在存在叠加断裂或存在不同层系断裂相互叠合的地区，断裂对油气运聚的影响更为复杂，而其研究相对不足。

渤海湾盆地是中国东部的典型裂陷盆地，其形成演化受到太平洋板块、欧亚板块、印度洋板块相互俯冲碰撞的叠加应力作用（周延豪等，2018），中生代经历了初始张裂、断陷发育、拗陷发育等主要阶段，构造面貌复杂，其内部的众多拗陷乃至拗陷中的次级凹陷亦具有特殊的应力伸展转换机制（李理等，2012；戴黎明等，2013），并形成了众多的多期断裂叠合构造。然而关于该盆地多期断裂叠合发育区的断裂组合成因及其对油气成藏的控制作用研究薄弱，制约了对油气富集规律的认识。

南堡凹陷是渤海湾盆地重要的富油气凹陷，断裂发育较为复杂（侯贵廷等，2001；范柏江等，2010），大量已知油气藏的分布与多期断裂叠合具有密切联系。尽管前人对南堡凹陷的构造样式及其控藏作用开展过研究（马乾等，2011；刚文哲等，2013；张博明等，2016），认为南堡凹陷油气藏的形成演化与断裂分布和活动性紧密相关，但关于多期断裂叠合样式、成因及其对油气成藏的控制作用仍认识不足，制约了有利勘探开发目标的优选。老爷庙构造带是南堡凹陷的重要油气聚集区（刘晓等，2000；王晓文等，2000），其紧邻边界断层，多期断裂叠合较为发育。以老爷庙构造带为例，在断裂级别与组合样式分析基础上，结合数值模拟实验剖析断裂构造成因，并探讨断裂发育对油气成藏的控制作用，不仅可以厘定研究区油气分布与富集规律、指导油气勘探，而且对类似地区的构造特征及其控藏研究具有借鉴意义。

## 2 地质概况

渤海湾盆地位于中国东部，其北部边界为燕山褶皱带，西部为太行山山脉，南部和东部分别被鲁西隆起和胶辽隆起所限，盆地在新生代经历了古近纪裂陷和新近纪的裂后热沉降作用，根据古近系分布，整个盆地被划分为下辽河-辽东湾、渤中、黄骅、冀中、临清、济阳、昌潍 7 个拗陷以及沧县、埕宁、邢衡和内黄 4 个隆起，呈现出隆拗相间的构造格局（滕长宇等，2014）。黄骅拗陷位于渤海湾盆地中心地带，整体呈北北东走向，分割西侧北北东向的冀中拗陷和东侧北西西向的济阳拗陷，是发育在一个巨型走滑构造带中的新生代拉分拗陷（李三忠等，2011），具有典型的“下断上拗”型二元结构特征，在周边隆起物源供应下，拗陷主要沉积了孔店组、沙河街组、东营组、馆陶组和明化镇组地层，其中孔店组、沙河街组、东营组发育冲积—河流相、湖相、三角洲相等沉积，馆陶组、明化镇组发育大型平原型辫状河或曲流河相，遍布全拗陷分布（胡才志等，2010）。

南堡凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷东北部，是一个北断南超的箕状断陷，其西北部的西南庄断层和东北部的柏各庄断层为边界断层，南部通过缓坡带与沙垒田凸起相连（姜华等，2010；王华等，2011；马乾等，2011；孙思敏等，2016）（图1a, b）。老爷庙构造带位于南堡凹陷西南庄断层中段的下降盘，是一个受凹陷北部边界断层控制的继承性发育的滚动背斜构造（王晓文等，2000）（图1c, d），面积约150km<sup>2</sup>。老爷庙构造带发育大量北东-南西向为主、近东西向为辅的伸展断层，并将构造带划分为庙北滚动背斜和庙南断鼻两部分（图1c）；该构造带断裂复杂，发育不同走向、不同伸展应力场的叠加，在黄骅拗陷及南堡凹陷具有较强的代表性。钻井揭示研究区发育沙河街组（包括沙三段、沙二段、沙一段）、东营组（包括东三段、东二段、东一段）、馆陶组和明化镇组等地层，相继发现了明化镇组下段、馆陶组、东一段、东二段、东三段等多套含油层系。

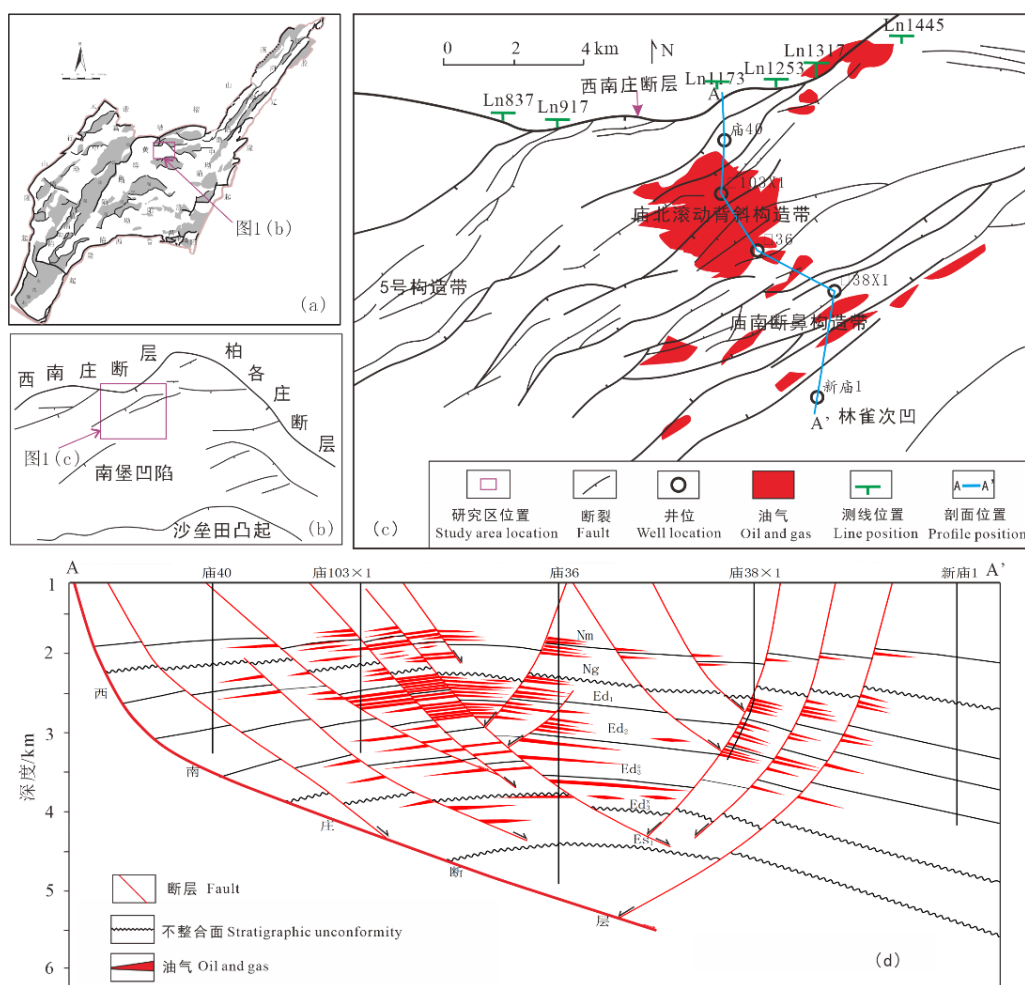


图 1 南堡凹陷老爷庙构造位置 (a, b)、明化镇组底部构造 (c) 和油气分布 (d)

Fig. 1 The location of Laoyemiao structural belt in Nanpu Depression (a, b) and its bottom structure of Minghuazhen Formation (c) and hydrocarbon distribution (d).

### 3 断裂组合样式

#### 3.1 断裂级别划分

含油气盆地中的断裂往往具有长短不一、切割深度和断距大小不等的特征。以往人们往往将盆地中的断裂划分为五级断裂(罗群, 1999), 不同级别断裂对不同级别的构造起到控制作用, 其中一级断裂控盆、二级控坳、三级控带、四级控圈、五级复杂化。为了更好地认识南堡凹陷老爷庙构造带内部的构造特征差异, 根据断裂断开层系及其对局部构造的控制作用, 将老爷庙构造带的断裂划分为 I、II、III 和 IV 共四个级别(图 2), 其中 I 级断裂为西南庄边界断层, 活动时间早且在整个断陷期持续活动, 控制了老爷庙构造带的构造面貌及其地层沉积特征, 同时也是控制南堡凹陷的边界断裂, 对应于前人盆地尺度划分的三级断裂。II 级断裂为西南庄断层的伴生断层和沙河街组沉积期形成的断层, 这些断层在东营至明化镇期较多发生再次活动, 往往贯穿沙河街组至明化镇组的地层; III 级断裂主要为明化镇组沉积期发育的断裂, 主要依附于二级断裂且自东营组断至明化镇组, 控制了圈闭的形成; IV 级断裂为 III 级断裂派生的小断层, 主要在馆陶组至明化镇组发育, 对圈闭发育起到控制作用; II、III、IV 级断裂对应于前人盆地尺度划分的四级和五级断裂。整体分析表明, I 级和 II 级断裂纵向延伸长, 贯穿沙河街组至明化镇组层系; III 级和 IV 级断裂纵向延伸短, 且主要分布于东二段及其以上层系的浅部层系。

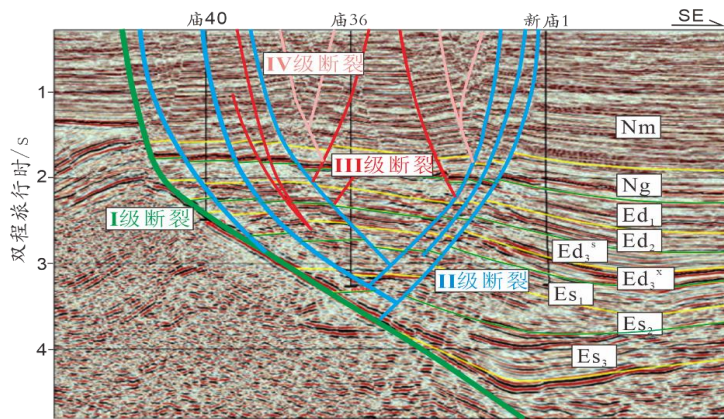


图 2 老爷庙构造带断裂分级示意图

Fig. 2 Schematic diagram of fault classification of Laoyemiao structural belt.

### 3.2 断裂组合类型

老爷庙构造带断裂级别和数量众多，整体上具有“阶梯状（下）-地堑式（上）叠合断裂”的特征，其中深层为阶梯状断裂，中-浅层为地堑式断裂，包括复合“y”与复合反“y”字型断裂组合（图 3）。从断裂发育层系来看，阶梯状断裂组合切割层系多，主要由 I 级和 II 级断裂组合而成，与沙河街组沉积时期的早期断裂活动有关，以北东向为主，为早期断裂系统；而复合“y”型、复合反“y”型断裂组合则是在 I 级、II 级断裂基础上发育的 III 级和 IV 级断裂，以近东西向为主，主要分布于东营组东二段以上地层中，受控于晚期的构造活动。早期断裂系统和晚期断裂系统主要以东营组东二段泥岩层为界限，该泥岩层最大单层厚度达 100m，累计总厚度近 400m，对于晚期断裂向下切割起到重要的阻碍作用，导致晚期断裂大多消失于东二段泥岩层段。

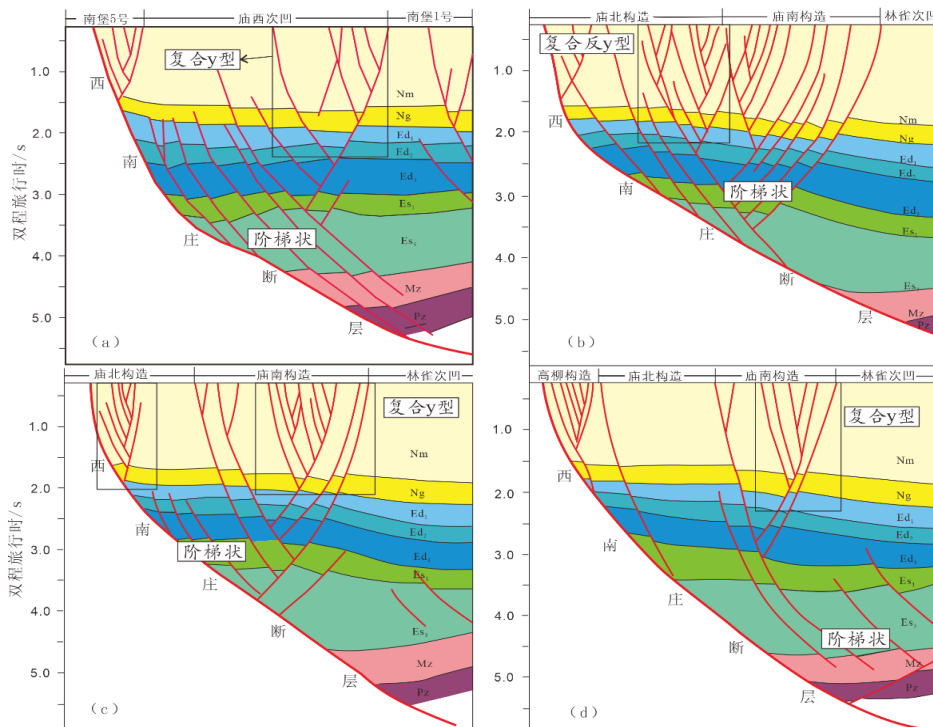


图 3 老爷庙构造带不同剖面的断裂组合样式图

(a) 测线 Ln917; (b) 测线 Ln1173; (c) 测线 Ln1317; (d) 测线 Ln1445

Fig. 3 Fault assemblage patterns of different sections of Laoyemiao structural belt.

(a) Line 917. (b) Line 1173. (c) Line 1317. (d) Line 1445.



## 4 断裂构造成因

### 4.1 西南庄断层活动性差异

西南庄断层是南堡凹陷北西侧主控边界断层(姜华等, 2010; 孙思敏等, 2016), 延伸长度约为 50km, 属于长期活动性断层。通过不同时期断裂活动性统计(图 4), 认为西南庄断层西段(Ln837 测线以西)和中段(Ln837 测线与 Ln1253 测线之间)在东营期的活动性最强, 东段(Ln1253 测线以东)和中段在沙河街期活动性最强, 而老爷庙地区主体位于西南庄断层的中段, 说明具有不同时期强烈应力场的叠加。由于沙河街期西南庄断层东段活动最强, 而东营期断层中段活动最强, 结合西南庄断层不同区段断层走向及老爷庙构造带内部不同级别断层的走向, 认为两期断裂伸展应力方向分别为北西向和近南北向, 所以老爷庙构造带经历了早、晚两期不同方向强烈应力场的叠加。而明化镇期断层活动强度整体相对稳定, 具有整体拗断沉降特征。

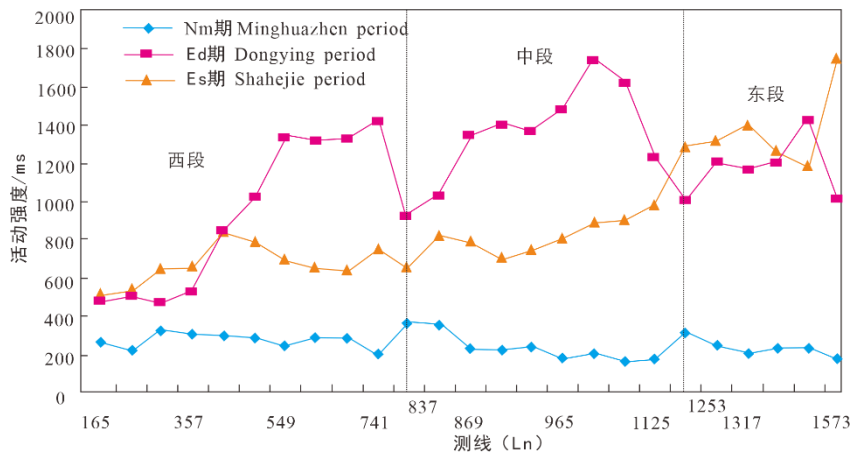


图 4 南堡凹陷西南庄断层活动强度对比图

Fig. 4 Comparison of active intensity of Xi'nanzhuang fault in Nanpu Depression.

### 4.2 不同应力叠合断裂构造的数值模拟实验

数值模拟是盆地古构造恢复和构造成因机制研究的重要手段(何斌, 2001; 漆家福, 2004; 胡梦颖等, 2017)。为分析老爷庙构造带两期异向伸展叠加对东二段上、下断裂组合差异的控制作用, 揭示不同时期应力叠加对构造样式的影响, 利用离散元数值模拟软件, 对含有泥岩塑性层(对应东二段)的地层剖面进行了数值模拟实验。

#### 4.2.1 模型设置与实验方法

根据前述分析, 老爷庙构造带的 I 级和 II 级断裂贯穿沙河街组至明化镇组层系, 而 III 级和 IV 级断裂向下主要消失于东二段及其以上地层, 因此模型设计时通过塑性地层和脆性地层的叠置可以实现接近研究区实际的地层模型, 进而通过两个不同方向的拉伸来模拟塑性地层上下的断层发育规律。

该实验设计的数值模型类似于砂箱模型(长、宽、高分别为 10m、3 m、4m), 如图 5 所示, 由两套脆性层(分别为 1.125m)夹一套塑性层(0.75m)构成, 模型底部为可变形底板。模型中脆性层和塑性层通过设定相应的力学参数来实现, 其中脆性层的杨氏模量为 20MPa, 滑动、滚动摩擦系数都为 0.6, 而塑性层的杨氏模量为 3MPa, 滑动、滚动摩擦系数都为 0.01。实验过程包括两期拉伸作用, 第 1 期为平行于长轴方向的正向拉伸, 第 2 期为斜向拉伸, 在正向拉伸实验基础上进行与长轴夹角 45° 方向进行拉伸, 拉伸速率都为 0.017m/s, 获取正向、斜向拉伸量为 0.5m 和 1m 时的剖面构造样式和平面构造样式。

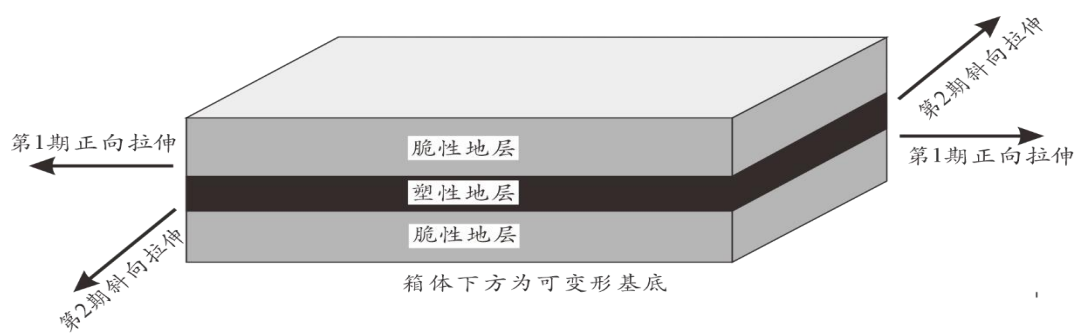


图 5 构造变形模型及不同方向拉伸示意图

Fig. 5 Structural deformation model and drawing diagram in different directions

#### 4.2.2 模拟实验结果

模拟实验结果如图 6 所示，在正向拉伸作用下，模型中央位置以沉降为主，并发育边界断层，延伸方向与正向拉伸方向垂直；纵向构造样式对比可知，上部脆性地层中的断裂系统横向宽度明显大于下部脆性地层，而且拉伸量越大这种差异性越明显，这与中间塑性层的分割作用有关。斜向拉伸作用下，塑性层以上广泛发育不同倾向的次级断裂，这些断裂向下均消失于塑性层中，形成了与正向拉伸断裂明显不同的断裂体系，平面上这些次级断裂延伸方向多与斜向拉伸方向垂直，而且多与早期断裂呈一定的夹角分布，从而形成了断裂规模、延伸方向、切割层系不同的两类断裂体系。

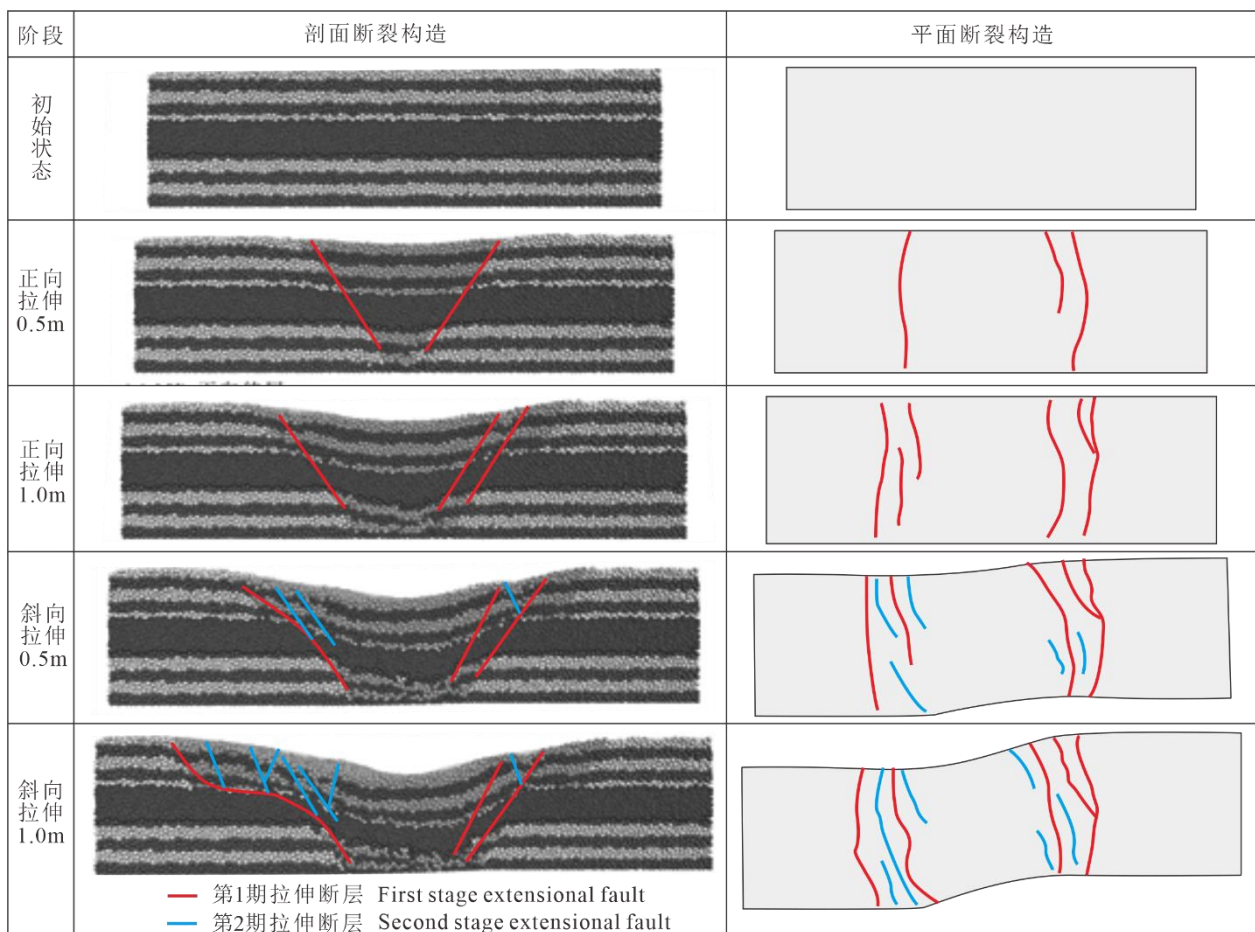


图 6 不同应力叠合模拟的剖面、平面构造样式特征

Fig. 6 Characteristics of sectional and planar structural styles simulated by superposition of different stresses

### 4.3 老爷庙构造带断裂构造成因

分期异向伸展的离散元数值模拟结果与研究区实际吻合，证实了地质体在伸展和斜向伸展过程中会形成不同走向的断裂，早期伸展阶段形成的断裂起到主导作用，而斜向伸展阶段主要形成次级断裂，两期断裂在平面上有相交趋势，在垂向上有明显的分层效应。南堡凹陷老爷庙构造带呈现出的断裂系统，受控于两期不同方向的构造伸展作用，其中沙河街组沉积时期形成北东—南西走向断层，而东营组沉积晚期及以后形成近东西走向断层，且具有垂向叠置的特点，其中东营组内部大套塑性泥岩层的存在是导致深层与浅层变形差异及垂向叠置的关键物质因素。

由于老爷庙地区处于西南庄边界断层活动强烈部位，伸展量较大，在沙河街期和东营期形成了滚动背斜构造，并在背斜顶部产生塌陷构造，形成阶梯状断裂组合。而东营晚期和明化镇期又叠加了晚期断裂，使早期发育的背斜进一步复杂化，并形成复合“y”型、复合反“y”型等断裂样式。

## 5 断裂体系对油气成藏的控制作用

### 5.1 早期断裂控制凹陷、构造带的形成

凹陷边界断层对于凹陷及其内部构造、沉积的形成演化至关重要（王家豪等，2008；余海波等，2018）。研究区西南庄断层是一条长期活动的控凹断层，决定了研究区古近系地层的沉积及区内基本构造格局。西南庄断层走向存在较大变化，其中东段最先发育，西段和中段在中晚期强烈活动，而中段正是老爷庙背斜构造带的发育部位（图7），断层的持续活动也是老爷庙构造带发育的根本原因。老爷庙地区于沙一沉积期形成滚动背斜雏形，东营期为背斜发育全盛期，并于东营末期基本定型；新近纪的继承性活动，最后形成庙北滚动背斜和庙南断鼻构造。

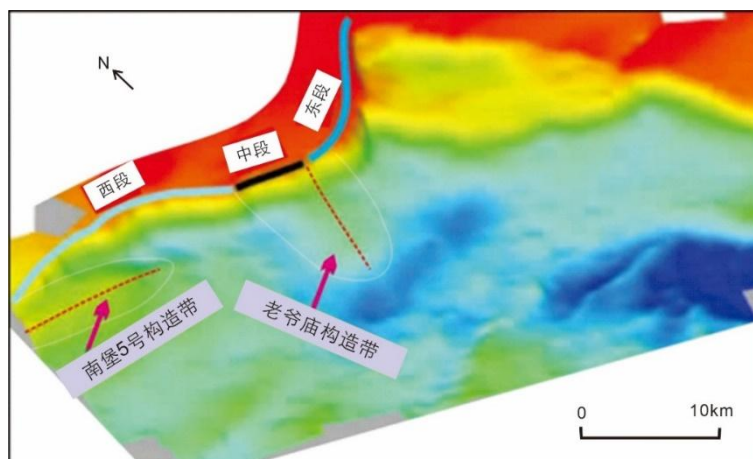


图7 南堡凹陷西南庄断层下降盘的东营组底面构造形态图

Fig. 7 Bottom structural morphology of Dongying Formation on the descending wall of Xi'nanzhuang fault in Nanpu Depression.

### 5.2 晚期断裂叠加控制中浅层圈闭类型

东营末期，老爷庙地区在整体背斜的背景上，受晚期断层活动的影响，构造发生复杂化，穹窿背斜形态破碎，常在断层两侧形成多个继承性发育的小断鼻、半背斜及局部小背斜圈闭等小型微构造圈闭。研究区构造圈闭聚集带表现出成带分布、排列有序，单个圈闭面积小、圈闭个数多，以及圈闭继承性好等特点。平面上，西南庄断裂带下降盘发育背斜主控型和断裂主控型两类圈闭，其中老爷庙背斜构造圈闭呈北北西条带分布，与背斜长轴方向基本一致，而断裂主控型构造圈闭呈北东或近东西向条带状分布，基本与断裂系统平行分布（图8）。

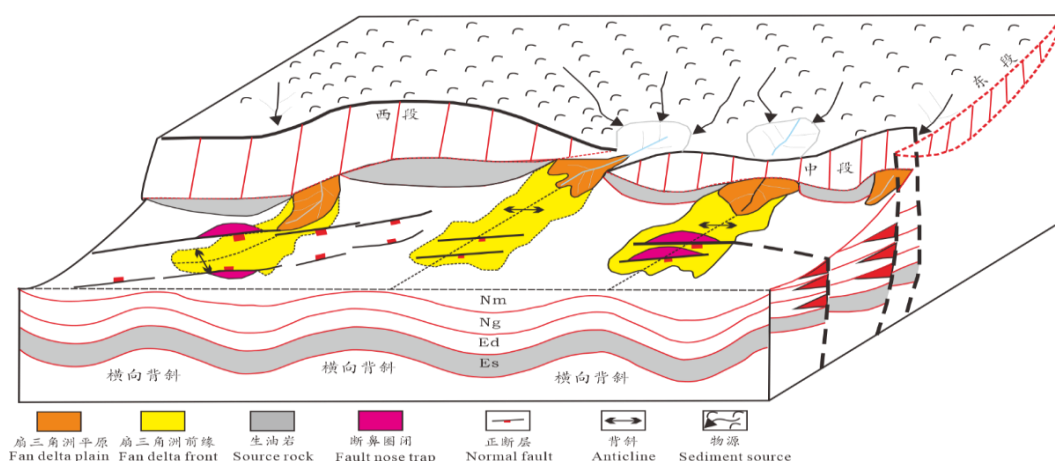


图8 南堡凹陷西南庄断层下降盘圈闭发育模式图

Fig. 8 Model of trap development on the descending wall of Xi'nanzhuang fault in Nanpu Depression.

### 5.3 断裂持续活动控制油气成藏期

老爷庙构造带经历了沙河街、东营和明化镇等三期主要断裂活动，其中东营期和明化镇末期的断裂活动与烃源岩生烃期具有较好的匹配关系，可以作为烃类垂向运移通道，但东营期时的浅层圈闭条件尚未形成，油气主要在下部层系发生聚集或者垂向沿断裂散失。根据流体包裹体法确定的油气充注期次研究也表明，研究区东营组、馆陶组油气藏的形成时间主要为馆陶-明化镇期，且以明化镇期为主（图9）。因此，晚期断裂活动是油气晚期发生充注、成藏的重要控制因素，这与渤海湾盆地新构造运动期的晚期成藏作用（邓运华，2001；何敏等，2019）相一致。

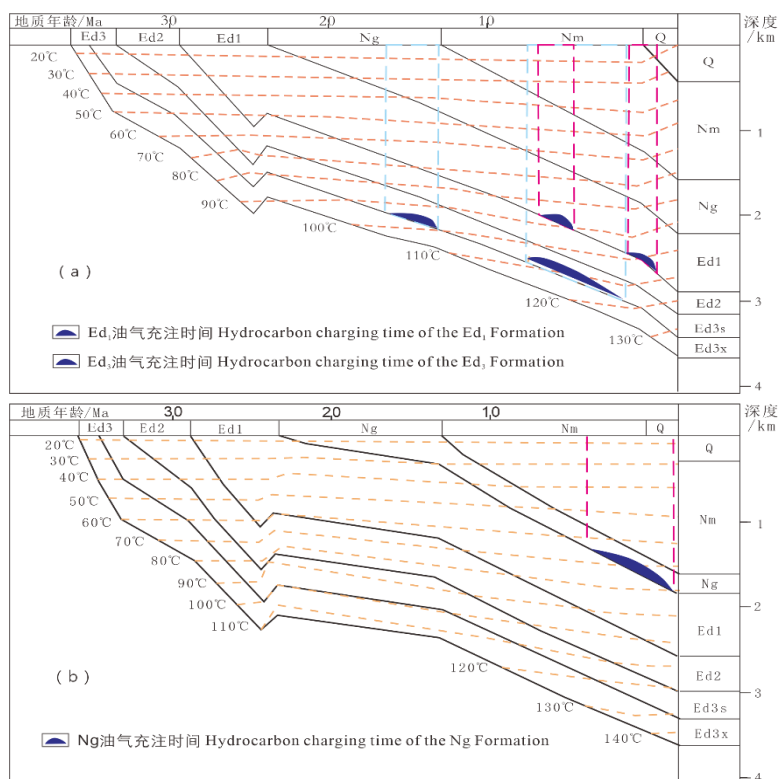


图9 老爷庙构造带油气充注期次

(a) 庙38X1井Ed储层；(b) 庙190X1井Ng储层

Fig. 9 Hydrocarbon charging periods in Laoyemiao structural belt.

(a) Ed reservoir in well Miao 38X1. (b) Ng reservoir in well Miao 190X1.



## 5.4 多级断裂组合影响油气富集层系

多级断裂组合及不同级别断裂的活动强度对油气运移方向和聚集位置影响较大(张震等,2018; 胡欣蕾等,2019),研究区沙三段、沙一段和东三段为研究区的生烃层系,油气生成并向烃源岩层相邻储层或沿断裂向浅部储层运移后,背斜构造主体油气富集程度较高,向边部方向油气富集程度逐渐变差,表现了整体背斜构造对宏观油气分布的控制,同时断裂复杂化的圈闭分布对具体油气聚集位置具有重要影响。纵向上,研究区多级断裂发育区对应明化镇组下段、馆陶组、东一段、东二段、东三段等多套层系发生油气聚集,二级断层组合及其与三级、四级断层组合,形成了复合“y”型和复合反“y”型的油气输导通道网络,在明化镇期的断裂活动期,使烃源岩层系生成的油气沿断裂体系不断向中浅层运移(图 10),同时这些不同级别的断裂组合也形成了有利的断块圈闭,特别是晚期断裂的断距较小,造成断层两盘砂泥岩对接的有利侧向封闭性特征,使油气利于在这些浅层断裂组合构造中发生聚集,而且目前在东营组和馆陶组发现的大规模油气富集也说明晚期断裂组合的重要作用。

研究区东二段泥岩层是早期、晚期断裂体系识别的重要标志,同时也是油气分布的重要界限,上部受三、四级断裂影响,形成了大量的构造圈闭类型,油气在晚期活动的多期断裂输导下,运移至上部层系发生富集。而东二段泥岩层下部层系,与烃源岩具有更好的时空匹配关系,油气的生、排、聚条件好,易形成自生自储的原生气藏,所以深层尚具有较大的勘探潜力。

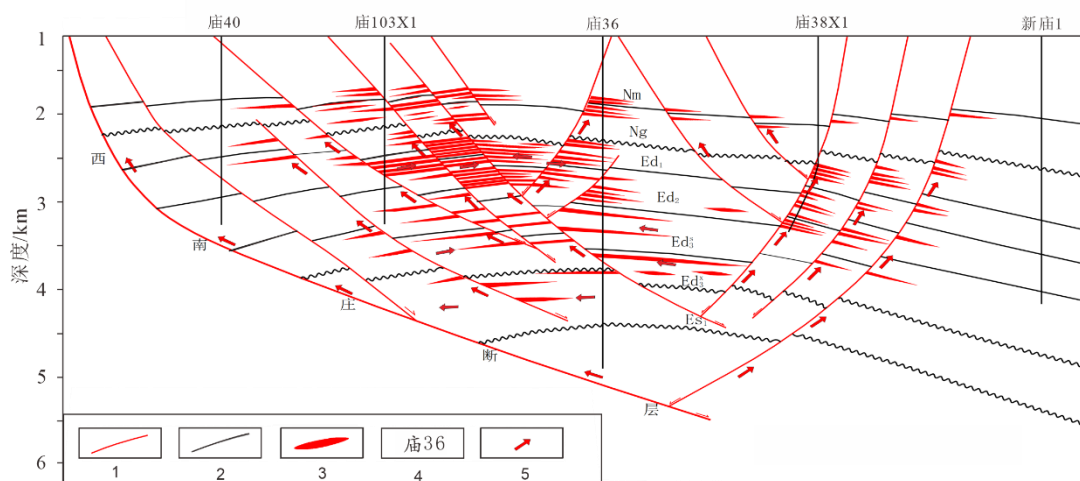


图 10 老爷庙构造带油气纵向分布及运聚模式图

1-断层; 2-层位线; 3-油气; 4-井位; 5-油气运移方向

Fig. 10 Vertical distribution and migration and accumulation pattern of oil and gas in Laoyemiao structural belt.

1- Fault; 2- Stratigraphic line; 3- Oil and gas; 4- Well location; 5- Hydrocarbon migration direction

## 6 结论

(1) 老爷庙构造带发育阶梯状、复合“y”型、复合反“y”型等多种断裂组合类型,其中阶梯状断裂组合切割层系多,与沙河街组沉积时期的早期断裂有关,而复合“y”型、复合反“y”型断裂组合主要分布于东营组东二段以上地层中,受控于晚期的构造活动。

(2) 老爷庙构造带的形成与西南庄断层中段的活性密切相关。沙河街晚期和东营早期的应力场作用,研究区形成区域滚动背斜,并在背斜顶部产生塌陷构造,形成阶梯状断层组合;而东营晚期和明化镇期叠加了晚期断裂,使早期发育的背斜进一步复杂化,形成复合“y”型、复合反“y”型等断裂样式。

(3) 含有泥岩塑性层的分期异向伸展实验研究表明,地质体中依次发生伸展和斜向伸展作用,会分别形成早期主干断裂和晚期次级断裂组合,且垂向分层效应明显;层内大套塑性泥岩层的存在是导致深层与浅层变形差异及垂向叠置的关键物质因素。

(4) 多期断裂叠合作用对油气成藏具有重要控制作用,其中早期断裂控制凹陷、构造带的形成,晚期断裂

叠加控制中浅层圈闭类型，晚期断裂持续活动导致油气晚期成藏，多级断裂组合样式影响油气富集层系。

## References

- Cai Hua, Zhang Jianpei, Tang Xianjun. 2014. Characteristics of the fault systems and their control on hydrocarbon accumulation in the Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 34(10): 18–26 (in Chinese with English abstract).
- Contreras J, Anders M H, Scholz C H. 2000. Growth of a normal fault system: Observations from the Lake Malawi basin of the east African rift. *Journal of Structural Geology*, 22, 159–168.
- Dai Liming, Li Sanzhong, Lou Da, Suo Yanhui, Liu Xin, Zhou Lihong, Pu Xiugang, Zhou Shuhui, Yu San. 2013. Numerical modeling on the stress field in the Huanghua depression, Bohai Bay basin[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 56 (3) : 929–942 (in Chinese with English abstract).
- Deng Yun Hua. 2001. Control of the neotectonism along Tancheng-Lujiang fracture zone on hydrocarbon accumulation in the eastern Bohai Sea[J]. *China Offshore Oil and Gas: Geology*, 15(5): 301–305 (in Chinese with English abstract).
- Depolo C M, Anderson J G. 2000. Estimating the slip rates of normal faults in the Great Basin. *Basin Research*, 12, 227–240.
- Fan Bojiagn, Liu Chenglin, Liu Guangdi, Zhu Jie. 2010. Forming mechanism of the fault system and structural evolution history of Nanpu sag[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 25(2): 13–23 (in Chinese with English abstract).
- Fan Saihua, Xie Hui, Li Binwen, Liu Yuan, Li Weiping, Xu Weina, Zhao Hu, Mou Lei. 2022. Controlling effect of Shaximiao Formation fault on gas accumulation in eastern slope area of Western Sichuan Depression[J]. *Geology in China*, 49(4): 1275–1284(in Chinese with English abstract).
- Feng Jianwei, Wang Xhikun, Shang Lin. 2017. Genetic mechanisms of superimposed fault systems in Block 3 of Nanpu Sag, Bohai Bay Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 38(6):1032–1042 (in Chinese with English abstract).
- Gang Wenzhe, Zou Jianwei, Gao Gang. 2013. Hydrocarbon migration pattern of beach region in the Nanpu Depression, Bohai Bay Basin—An example of Nanpu1 structure belt[J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology*, 32(2): 9–16 (in Chinese with English abstract).
- Gawthorpe R L, Leeder M R. 2000. Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins. *Basin Research*, 12, 195–218.
- Goldsworthy M, Jackson J. 2001. Migration of activity within normal fault systems: Examples from the Quaternary of mainland Greece. *Journal of Structural Geology*, 23, 489–506.
- Gong Zaisheng, Cai Dongsheng, Zhang Gongcheng. 2007. Dominating action of Tanlu Fault on hydrocarbon accumulation in eastern Bohai Sea area[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 28(4): 1–10 (in Chinese with English abstract).
- He Bin. 2001. On dynamics of the Bohai Bay complex faulted basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 23(1): 27–31 (in Chinese with English abstract).
- He Min, Zhu Weilin, Wu Zhe, Zhong Guangfa, Ren Jianye, Liu Lihua, Wang Wenyong. 2019. Neotectonic movement characteristics and hydrocarbon accumulation of the Pearl River Mouth basin[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 31(5): 9–20 (in Chinese with English abstract).
- Hou Guiting, Qian Xianglin, Cai Dongsheng. 2001. The tectonic evolution of Bohai Basin in Mesozoic and Cenozoic time[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 37(6): 845–851 (in Chinese with English abstract).
- Hu Caizhi, Zeng Zuoxun, Ren Jianye, Qi Peng, Li Zhiyong, Hu Ye. 2010. Subsidence Center Migration of the Huanghua Depression in Cenozoic: Evidence of Numerical Modeling[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 34(4): 573–584 (in Chinese with English abstract).
- Hu Mengying, Li Sanzhong, Dai Liming, Suo Yanhui, Guo Lingli, Liu Ze, Ma Fangfang, Tao Jianli. 2017. Numerical dynamic modeling of tectonic inversion in the northeastern Xihu Sag[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 37(4): 151–166 (in Chinese with English abstract).
- Hu Xinlei, Lü Yanfang, Fu Guang, Wang Chao, Liu Zhe. 2019. Quantitative evaluation of fault vertical sealing ability of 1st structure in Nanpu Sag[J]. *Earth Science*, 44(11): 3882–3893 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Hua, Wang Jianbo, Zhang Lei, Fang Xinxin, Yuan Shengqiang. 2010. Segment activity of xi'nanzhuang fault in Nanpu sag and its controlling on sedimentary process[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(6): 1047–1053 (in Chinese with English abstract).

- Li Li, Zhong Dalai, Yang Changchun, Shi Xiupeng, Hu Qiuyuan, Zhao Li, Sun Yuhao, Liu Hui. 2012. Extension order and its deep geological background: Evidence from western Shandong rise and Jiyang depression in the Late Mesozoic — Cenozoic[J]. *Earth Science Frontiers*, 19( 5) : 255–273 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiao, Cao Zhonghong, Liu Cuiqin, Li Xueqin. 2000. Prediction of oil-bearing facies belts and reservoir characteristics of dongying formation in laoyemiao region [J]. *Oil & Gas Geology*, 21(4): 333–336 (in Chinese with English abstract).
- Luo Qun. 1999. An outline of theory of fracture-controlling hydrocarbon[J]. *Petroleum Explorationist*, 1999, 4(3): 8–14 (in Chinese with English abstract).
- Ma Qian, Zhang Junyong, Li Jianlin, Li Wenhua, Liu Guoyong, Feng Chaorong. 2011. Characteristics of the Shear Structures in Nanpu Sag and their Controls on Hydrocarbon Accumulation[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 35(2): 183–189 (in Chinese with English abstract).
- Morley C K. 2002. Evolution of large normal faults: Evidence from seismic reflection data. *American Association of Petroleum Geologists*, 86(6), 961–978.
- Qi Jiafu, Li Xiaoguang, Yu Fusheng, Yu Tiancai. 2013. Cenozoic structural de- formation and expression of the “TanLu Fault Zone” in the West Sag of the Liaohe Depression, Bohaiwan basin province, China[J]. *Scientia Sinica: Terrae*, 43(8): 1324–1337 (in Chinese with English abstract).
- Qi Jiafu. 2004. Two tectonic systems in the Cenozoic Bohai Bay basin and their genetic interpretation[J]. *Geology in China*, 31(1): 15–22 (in Chinese with English abstract).
- Sun Simin, Ji Hancheng, Wang Jianwei, Zhang Hui, Chen Liang. 2016. Segmentation characteristics and evolution of Xi'nanzhuang fault in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin[J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 38(5): 628–634 (in Chinese with English abstract).
- Teng Changyu, Zou Huayao, Hao Fang. 2014. Control of differential tectonic evolution on petroleum occurrence in Bohai Bay Basin[J]. *Scientia Sinica: Terrae*, 44(4): 579–590 (in Chinese with English abstract).
- Wang Hua, Jiang Hua, Lin Zhengliang, Zhao Shue. 2011. Relations between synsedimentary tectonic activity and sedimentary framework of Dongying Formation in Nanpu Sag[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 33(1): 70–77 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jiahao, Wang Hua, Xiao Dunqing. 2008. Transfer zone controlling on sandbodies in extensional structure system[J]. *Oil & Gas Geology*, 29(1): 19–25 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiaowen, Dong Yuexia. 2000. Petroleum geological property and hydrocarbon distribution in LaoYemiao region[J]. *Oil & Gas Geology*, 21(4): 341–344 (in Chinese with English abstract).
- Wu Kongyou, Liu Yilei, Hu Desheng, Liu Yin, Zhang Shuai, Cui Lijie. 2021. Types and evolution of faults in the east area of the Wushi Sag, Beibuwan Basin[J]. *Journal of Geomechanics*, 27(1): 52–62 (in Chinese with English abstract).
- Xu Shouyu, Yan Ke. 2005. Structural system and hydrocarbon distribution in the Bohai Gulf Basin[J]. *Journal of Geomechanics*, 11(3): 259–265 (in Chinese with English abstract).
- Xu Ziyang, Wang Jun, Gao Hongfang, Yao Yongjian, Zhu Rongwei, Tang Jianglang, Nie Xin, Sun Meijing. 2020. The characteristics and formation mechanism of the faults in the southern part of the Zhongsha Bank[J]. *Geology in China*, 47(5): 1438–1446(in Chinese with English abstract).
- Yu Haibo, Cheng Xiushen, Qi Jiafu, Tan Yuming, Xu Tianwu. 2018. Effects of Paleogene faulting on the subsag evolution and hydrocarbon generation in Dongpu Sag[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 25(6): 24–31 (in Chinese with English abstract).
- Yu Haibo, Cheng Xiushen, Xu Tianwu, Tan Yuming, Qi Jiafu. 2020. Characteristics about hydrocarbon accumulation controlled by structure in Paleogene of Dongpu Sag[J]. *Geoscience*, 34(6): 1119–1131 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Boming, Zhao Xiaodong, Liu Xiao, Qiao Haibo, Liliang. 2016. Two phase fault characteristics and controlling function on mid-depth reservoir formation of oil in the No.3 Nanpu sag[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 40(1): 72–79 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhen, Xu Chunqiang, Zhang Zhiqiang, Yang Chuanchao, Zhao Jialin, Li Hong. 2018. Evolution characteristics and their controlling actions on the hydrocarbon accumulation for the faults in west subsag of bozhong sag[J]. *Petroleum Geology and Oilfield Development*

in Daqing, 37(1): 9–14 (in Chinese with English abstract).

Zhou Yanhao, Lan Zhiqin, Feng Jianwei, Wang Hong, Zhang Zhiguo, Li Jihua, Liu Guige. 2018. Simulation of multi-phase tectonic stress superimposition and fault evolution in the Nanpu depression[J]. *Geology and Exploration*, 54(4): 772–780 (in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

- 蔡华, 张建培, 唐贤君. 2014. 西湖凹陷断裂系统特征及其控藏机制[J]. *天然气工业*, 34(10): 18–26.
- 戴黎明, 李三忠, 楼达, 索艳慧, 刘鑫, 周立宏, 蒲秀刚, 周淑慧, 余珊. 2013. 渤海湾盆地黄骅坳陷应力场的三维数值模拟分析[J]. *地球物理学报*, 56(3): 929–942.
- 邓运华. 2001. 郯庐断裂带新构造运动对渤海东部油气聚集的控制作用[J]. *中国海上油气: 地质*, 15(5): 301–305.
- 范柏江, 刘成林, 柳广弟, 朱杰. 2010. 南堡凹陷断裂系统形成机制及构造演化研究[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 25(2): 13–17.
- 范赛华, 谢辉, 李彬文, 刘媛, 李卫平, 许维娜, 赵虎, 牟蕾. 2022. 川西坳陷东坡地区沙溪庙组断裂对天然气富集的控制作用[J]. *中国地质*, 49(4): 1275–1284.
- 冯建伟, 王志坤, 商琳. 2017. 渤海湾盆地南堡凹陷3区多期叠加断裂体系形成机制[J]. *石油与天然气地质*, 38(6): 1032–1042.
- 刚文哲, 邹俭巍, 高岗. 2013. 渤海湾盆地南堡凹陷滩海区油气立体输导模式——以南堡1号构造带为例[J]. *山东科技大学学报(自然科学版)*, 32(2): 9–16.
- 龚再升, 蔡东升, 张功成. 2007. 郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用[J]. *石油学报*, 28(4): 1–10.
- 何斌. 2001. 渤海湾复式盆地地动力学探讨[J]. *石油实验地质*, 23(1): 27–31.
- 何敏, 朱伟林, 吴哲, 钟广法, 任建业, 刘丽华, 王文勇. 2019. 珠江口盆地新构造运动特征与油气成藏[J]. *中国海上油气*, 31(5): 9–20.
- 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 2001. 渤海湾盆地中、新生代构造演化研究[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 37(6): 845–851.
- 胡才志, 曾佐勋, 任建业, 祁鹏, 李志勇, 胡焯. 2010. 黄骅坳陷新生代沉降中心迁移: 数值模拟证据[J]. *大地构造与成矿学*, 34(4): 573–584.
- 胡梦颖, 李三忠, 戴黎明, 索艳慧, 郭玲莉, 刘泽, 马芳芳, 陶建丽. 2017. 西湖凹陷中北部反转构造动力学机制的数值模拟[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 37(4): 151–166.
- 胡欣蕾, 吕延防, 付广, 王超, 刘哲. 2019. 南堡凹陷1号构造断层垂向封闭能力定量评价[J]. *地球科学*, 44(11): 3882–3893.
- 姜华, 王建波, 张磊, 方欣欣, 袁圣强. 2010. 南堡凹陷西南庄断层分段活动性及其对沉积的控制作用[J]. *沉积学报*, 28(6): 1047–1053.
- 李理, 钟大赉, 杨长春, 时秀朋, 胡秋媛, 赵利, 孙钰皓, 刘卉. 2012. 伸展作用序列及其深部背景: 以晚中生代以来鲁西隆起和济阳坳陷为例[J]. *地学前缘*, 19(5): 255–273.
- 刘晓, 曹中宏, 刘翠琴, 李雪芹. 2000. 老爷庙地区东营组储层特征及有利含油相带预测[J]. *石油与天然气地质*, 21(4): 333–336.
- 罗群. 1999. “断裂控烃理论”概要[J]. *勘探家*, 4(3): 8–14.
- 马乾, 张军勇, 李建林, 李文华, 刘国勇, 冯朝荣. 2011. 南堡凹陷扭动构造特征及其对油气成藏的控制作用[J]. *大地构造与成矿学*, 35(2): 183–189.
- 漆家福. 2004. 渤海湾新生代盆地的两种构造系统及其成因解释[J]. *中国地质*, 31(1): 15–22.
- 漆家福, 李晓光, 于福生, 于天才. 2013. 辽河西部凹陷新生代构造变形及“郯庐断裂带”的表现[J]. *中国科学: 地球科学*, 43(8): 1324–1337.
- 孙思敏, 季汉成, 王建伟, 章惠, 陈亮. 2016. 渤海湾盆地南堡凹陷西南庄断层分段特征及演化[J]. *石油实验地质*, 38(5): 628–634.
- 滕长宇, 邹华耀, 郝芳. 2014. 渤海湾盆地构造差异演化与油气差异富集[J]. *中国科学: 地球科学*, 44(4): 579–590.
- 王华, 姜华, 林正良, 赵淑娥. 2011. 南堡凹陷东营组同沉积构造活动性与沉积格局的配置关系研究[J]. *地球科学与环境学报*, 33(1): 70–77.
- 王家豪, 王华, 肖敦清. 2008. 伸展构造体系中传递带的控砂作用[J]. *石油与天然气地质*, 29(1): 19–25.
- 王晓文, 董月霞. 2000. 老爷庙地区石油地质特征与油气分布[J]. *石油与天然气地质*, 21(4): 341–344.
- 吴孔友, 刘煜磊, 胡德胜, 刘寅, 张帅, 崔立杰. 2021. 北部湾盆地乌石凹陷东区断裂类型及其形成演化[J]. *地质力学学报*, 27(1):



52-62.

徐守余, 严科. 2005. 渤海湾盆地构造体系与油气分布[J]. 地质力学学报, 11(3): 259-265.

徐子英, 汪俊, 高红芳, 姚永坚, 朱荣伟, 唐江浪, 聂鑫, 孙美静. 2020. 中沙地块南部断裂发育特征及其成因机制[J]. 中国地质, 47(5): 1438-1446.

余海波, 程秀申, 漆家福, 谈玉明, 徐田武. 2018. 东濮凹陷古近纪断层活动性对洼陷演化及生烃的影响[J]. 油气地质与采收率, 25(6): 24-31.

余海波, 程秀申, 徐田武, 谈玉明, 漆家福. 2020. 东濮凹陷古近纪盆地结构控烃控藏特征[J]. 现代地质, 34(6): 1119-1131.

张博明, 赵晓东, 刘晓, 乔海波, 李亮. 2016. 南堡凹陷3号构造中—深层两期断裂特征及其对油藏的控制[J]. 东北石油大学学报, 40(1): 72-79.

张震, 徐春强, 张志强, 杨传超, 赵家琳, 李虹. 2018. 渤中凹陷西次洼断裂演化特征及控藏作用[J]. 大庆石油地质与开发, 37(1): 9-14.

周延豪, 兰志勤, 冯建伟, 王洪, 张志国, 赵子骏. 2018. 南堡地区多期构造应力叠加模拟及断裂演化研究[J]. 地质与勘探, 54(4): 772-780.