Advances in Geosciences 地球科学前沿, 2020, 10(11), 1032-1041
Published Online November 2020 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/ag
https://doi.org/10.12677/ag.2020.1011102

Hans汉斯

渤南洼陷北带埕南断裂带构造特征及形成演化

孙 波[1]，刘国宁[1]，黄秀芹[1]，渠继航[2*]

[1]中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司河口采油厂，山东 东营
[2]中国石油大学(华东)地球科学与技术学院，山东 青岛
Email: *qujihang1996@163.com

收稿日期：2020年10月28日；录用日期：2020年11月10日；发布日期：2020年11月17日

摘 要

利用三维地震、测井、岩心等资料，从渤南洼陷北部埕南断裂构造几何学、运动学及动力学特征入手，对埕南断裂西部、中部及东部不同段的地震剖面进行精细解释，精细划分出埕南断裂带不同段之间断裂结构特征及差异性，分析得到埕南断裂特征、断层活动特征，剖析得到埕南断裂成因机制，恢复得到构造演化过程。对该区油气勘探、成藏规律具有重要的意义。研究发现：埕南断裂是多期多段式活动断层的组合，剖面差异特征明显，由西段至东段依次呈上陡下缓的坡坪式、铲式同生正断层及板状正断层，一系列NW、NE、近EW优势方向断层相互切割，伴生、派生次级断层呈旋扭构造体系，表现为“网格化”的断裂系统。不同构造样式的断层在活动期次及活动强度的差异造就了现今渤南洼陷北部沿埕东凸起自西向东断层活动强度逐渐增强，活动期次逐渐变晚的特点，板式断裂发育在活动强度大区域，铲式断裂发育在活动强度中等区域，活动弱的地区则以坐椅式断裂为主，这与埕南断裂带剖面分段形态差异变化相吻合。不同时期的区域构造环境，控制着埕南断裂带构造特征及多阶段演化规律。新生代以来，郯庐断裂带具有明显的张扭特征，时而左旋，时而右旋；郯庐断裂带左旋走滑挤压到右旋走滑拉张应力场的根本性变革，是研究区复杂断裂形成的控制性因素。

关键词

渤南洼陷，埕南断裂带，断裂特征，成因机制，构造演化

Structural Characteristics, Formation and Evolution of Chengnan Fault Zone in the Northern Belt of Bonan Subsag

Bo Sun[1], Guoning Liu[1], Xiuqin Huang[1], Jihang Qu[2*]

[1]Sinopec Shengli Oilfield Company Hekou Oil Production Plant, Dongying Shandong
[2]School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao Shandong

*通讯作者。

文章引用: 孙波, 刘国宁, 黄秀芹, 渠继航. 渤南洼陷北带埕南断裂带构造特征及形成演化[J]. 地球科学前沿, 2020, 10(11): 1032-1041. DOI: 10.12677/ag.2020.1011102

Email: *qujihang1996@163.com

Received: Oct. 28th, 2020; accepted: Nov. 10th, 2020; published: Nov. 17th, 2020

Abstract

Based on the data of 3D seismic, well logging, core data and other data, starting from the structural geometry, kinematics and dynamics characteristics of the Chengnan fault in the northern zone of the Bonan subsag, fine interpretation of the seismic sections of the western, central and eastern sections of the Chengnan fault, the fracture structural features and differences between different sections of the Chengnan fracture zone are delineated, analysing the fracture structural features and fault activity features of the Chengnan fault. The genetic mechanism of the Chengnan fault is analyzed and tectonic evolution process is recovered. It is of great significance to the law of oil and gas exploration and accumulation in this area. The study found: The Chengnan fault is a combination of multi-stage and multi-segment active faults, with obvious profile differences. From the west section to the east section, there are successively steep slopes, shovel syngenetic normal faults, and plate-shaped normal faults. The faults in the dominant directions of, NE, and near EW cut each other, and the associated and derived secondary faults are a twisted structural system, which is represented as a "grid" fault system. The difference in the active periods and active intensity of faults with different structural styles has resulted in the gradual increase in the active intensity of faults from west to east along the Chengdong bulge in the northern Bonan subsag, and the gradual late active period. Plate-type faults are developing. In areas with high strength, shovel type faults develop in areas with medium activity intensity, and areas with weak activity are dominated by chair-type faults, which is consistent with the change in section morphology of the Chengnan fault zone. The regional tectonic environment in different periods controls the tectonic characteristics and multi-stage evolution of the Chengnan fault zone. Since the Cenozoic, the Tan-Lu fault zone has obvious characteristics of tension and torsion, sometimes left-handed and sometimes right-handed; the Tan-Lu fault zone is a fundamental change in the tensile stress field from left-handed strike-slip extrusion to right-handed strike-slip. It is a complex fault in the study area. It is a controlling factor of Tanlu fault zone sinistral strike-slip extrusion dextral strike-slip extensional stress field of radical change for the formation of the complex fracture in the study area.

Keywords

Bonan Subsag, Chengnan Fault Zone, Fault Characteristics, Genetic Mechanism, Tectonic Evolution

1. 引言

埕南断裂带位于沾化凹陷的北部，在埕南大断层与埕东大断层的转换带，是典型的二级断层控制的复式油气聚集区，油气资源富集，先后探明并开发了多套层系多个断块油藏，累计探明含油面积 6.33 km^2，地质储量 1727 万吨。埕南断裂带该区形成了多样的油气藏类型，如岩性－构造油气藏、地层－岩性油气藏、岩性油气藏、地层油气藏等，成藏层系横跨从沙河街组－馆陶组[1] [2] [3] [4]；构造经过多期改造，断裂系统复杂多变；储层岩性从砂砾岩、疏松砂岩到白云岩，主要表现为“含油层系多，油藏类型多，成藏规律多”的地质特点。

研究区受燕山–喜山过渡期华北地台持续拉张的影响，沿埕东凸起呈弧形发育了北高南低的边界断裂–埕南断裂带，后期经喜山、东营期等多次继承性构造活动，形成了现今的复杂断裂体系。近年来研究表明，埕南断裂作为埕东凸起北部边界唯一的油源断层，其构造特征、演化规律及形成机理制约着油气由渤南洼陷向埕东凸起的运聚及保存。武奉霞[5]等通过对埕南断裂带开展整体、系统的研究，认为埕南断裂带多期次、多段式、走向多变式发育，北西西向断层最早活动，控制了前期盆地的演化。李克成[6]等通过对该带不同部位活动性研究，认为埕南断裂带应力作用强，活动强度沿埕东凸起自西向东逐渐增强，停止活动时间逐渐变晚。但是随着对该区勘探开发的不断深入，仍然存在以下相关问题[7] [8]：一是埕南断裂的断裂组合仍有问题，构造类型的划分不清；二是小断裂不落实，局部断层断层解释仍待修正。三是构造伸展、走滑、局部挤压，以及张扭、扭张的类型区分界限划分不明，缺少构造演化这条主线及有效配置关系。因此开展埕南断裂带构造特征及多阶段构造演化规律研究不仅具有较高的理论价值，对于该区油气深化勘探、增产稳产具有重要的实际意义。

2. 地质背景

渤南洼陷是济阳坳陷沾化凹陷中部的一个次级构造单元，构造上为一北东走向，北陡南缓、东陡西缓的断陷湖盆。北部以埕东–埕南断裂带为界，西部以义东断裂为界，其与孤北洼陷和四扣洼陷一起构成沾化凹陷北侧洼陷带[9] [10]。根据构造格架特征，可将渤南洼陷自北向南依次分为北部陡坡带、中部洼陷带和南部缓坡带三个次一级构造单元，洼陷内断裂发育，这些断裂主要以 NW、NE、近 EW 向分布为主，次级断裂大量发育(图 1)。埕南断裂带位于渤南洼陷北部陡坡构造带的一个三级构造单元，为一条北西、近东西和北东向盆倾边缘同沉积断裂和断裂周围的伴生构造构成的断裂构造带，连通着渤南洼陷与埕东凸起的油气垂向运移通道。此陡坡构造带以埕南断层及次级断层组成的埕南断裂带为主。结合前人研究发现[10] [11] [12]，埕南断裂带是在印支期弧形逆冲断层基础上经过负反转作用形成的正断层，断层上下盘地层差异明显，下降盘堆积巨厚沉积物，成为渤南洼陷区；上升盘地层被侵蚀剥蚀，仅残存了部分早期的地层，形成埕东凸起。断裂深切块状太古界花岗片麻岩，上切古近系地层。断层的长期继承性活动控制了整个断裂带内次一级洼陷古近纪及新近纪的沉积分布特征及成藏特点。地层纵向分布上，由于埕南断裂带沉积时间长且多次强烈活动，形成了孔店组、沙河街组、东营组的断陷湖盆沉积，馆陶

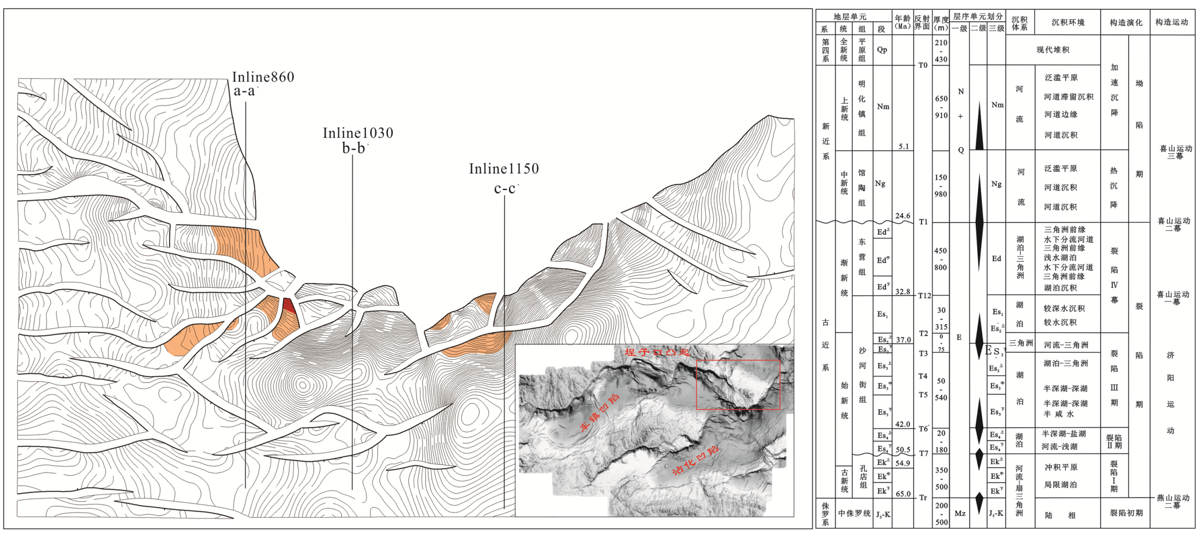

Figure 1. T2 reflection layer structure map and stratigraphic system summary in the northern Bonan subsag (According to the Geological Research Institute of Hekou Oil Production Plant)

图 1. 渤南洼陷北部 T2 反射层构造图及地层系统简表(据河口采油厂地质研究所改)

组和明化镇组的冲积平原－河流相沉积，多期次互相叠置砾岩体沿埕南断裂带多旋回持续性沉积，呈后退式序列发育(图 2)。在空间分布上，砂砾岩扇体分布受埕南断裂带控制差异明显，呈现平面成串分带、垂向分期叠置的特点，由边界断层到洼陷中心依次具有冲积扇－扇三角洲－滨浅湖－近岸水下扇－湖底扇－半深湖的组合规律，砂砾岩体埋藏逐渐变深，层位变老，是近源，快速堆积的产物，主要分布于沙四上亚段－沙三下亚段，整体表现为“北厚南薄，东厚西薄”的沉积特点。

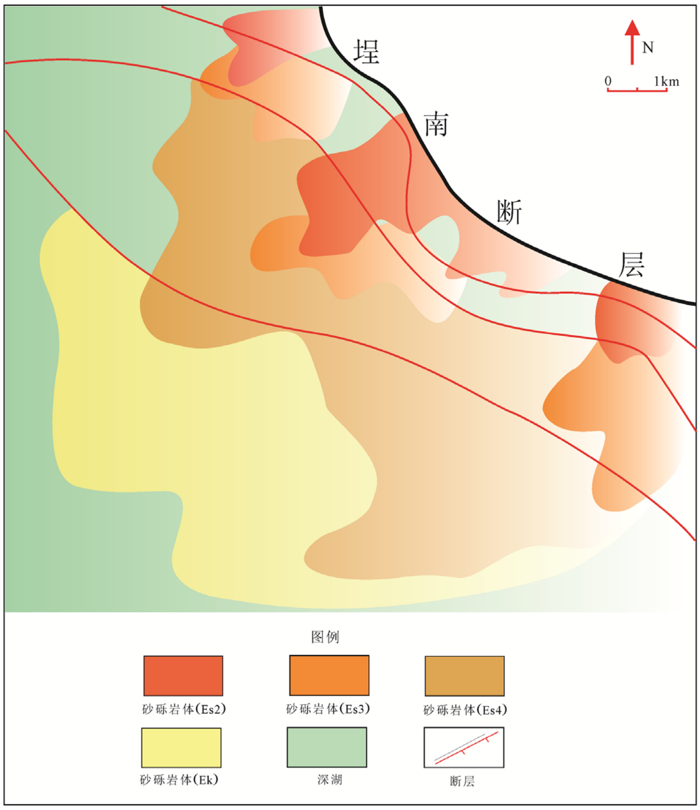

Figure 2. Distribution map of Ek-Es2 glutenite in Chengnan fault zone (According to Xianbin Shi [7], 2011)
图 2. 埕南断裂带孔店组－沙二段砂砾岩分布图(据石先滨[7]，2011)

3. 构造特征

3.1. 断层平面特征

渤南洼陷与济阳坳陷共同经历了印支、燕山和喜马拉雅等多期构造运动的叠加，洼陷西南部内存在一系列 NW、NE、近 EW 三个优势方向断层，且前期发育的 NW 向断层往往被后期近 EW 向断层切割，晚期派生小断层组成旋扭构造体系，整体表现为“网格化”的断裂系统[13]。(图 1) NW 向多为负反转断层，整体向南伸入沾化洼陷中。NE 向断层多分布在边界断层南部洼陷内，多为张性断层，倾向以东倾为主。在应力场及边界断层的影响下，主要发育有放射状、网格状、平行式、雁列式、斜交式及帚状平面组合样式。沙三至东营时期，近 EW 向次级断层大量发育，以北倾为主，该期断层发育规模较小、活动强度低。其中近 EW 向的埕南断裂部分派生一系列的次级 NE 向断层与其相交汇，从而形成马尾式断层组合。

不同构造样式的断层在活动时间和活动强度等方面存在差异。沙三沉积末期，洼陷带发育区域应力状态控制下的伸展－走滑断层体系。埕东凸起整体隆升挤压上覆地层，破裂形成环形伸展正断层体系。边界断裂前缘洼陷内右旋剪切应力场持续作用，形成雁列式走滑断层；沙二沉积末期，埕东凸起隆升速率

仍大于地层沉降速率，底劈或上拱作用仍存在，叠加走滑作用，发育一系列雁列式走滑断层，整体处于底劈与伸展-走滑复合应力场环境中。东营沉积末期，仅在局部存在底劈或上拱作用，全区主要以雁列式走滑断层体系为主，整体处于走滑－伸展应力场环境中。局部伸展断层附近发育一系列小规模伴生或次级派生断层，近一步复杂研究区断裂体系，造就现今渤南洼陷北部复杂多样的平面断裂样式。

3.2. 断层剖面特征

剖面上，研究区断层发育规模大、断面陡缓，深部断距较大，向上依次变小。通过将埕南断裂带断面顶点、断面与断层上、下盘底部分别连线，将连线后得到的断层线、上盘底线和下盘底线垂直投影到平面图上，得到埕南断裂带走向平面图。依据走向差异将埕南断裂带划分为西段、中段和东段三段，受多期构造作用影响，各段断层断面产状差异较大(图 3)，西段走向 NW 为 265°~280°，倾角约 35°；中段走向 NE85°~95°，倾角约 43°；东段走向 NE65°~75°，倾角约 70°。横切西段的地震剖面 a-a’显示，埕南断裂主干断层呈上陡－中缓－下陡的座椅状，倾角变化较大，凸起形态受控于抬升背景下的基底隆升翘倾，似花状断裂组合受控于断陷伸展方向转变引起的局部扭动，使得该段盆缘形成一个挠曲缓坡带。构成凸起形态、似花状断裂组合的“凸起－似花状”构造。横切中段的 b-b’地震剖面显示，埕南断裂主干断层为上陡－下缓的铲式同生正断层，断面形态整体呈上陡下缓凹面状。该段位于西段向东段(北东向)转折过渡部位，断裂延伸基底，与伴生次级小断层与其交汇，在地层浅部向上分叉、散开，构成该段复杂的多级“Y”字形构造样式。地层上超明显，判识该段断裂带模式为平行走滑拉张模式。断裂组合横切东段的 c-c’地震剖面显示，埕南断裂主干断层为板式正断层，断面形态陡峭，次级断裂伴生发育，较西、中段发育复杂。该段区域受多期不同构造环境影响，同一条断层在不同的地层中产状变化较大，为多次的幕式运动的影响成因。

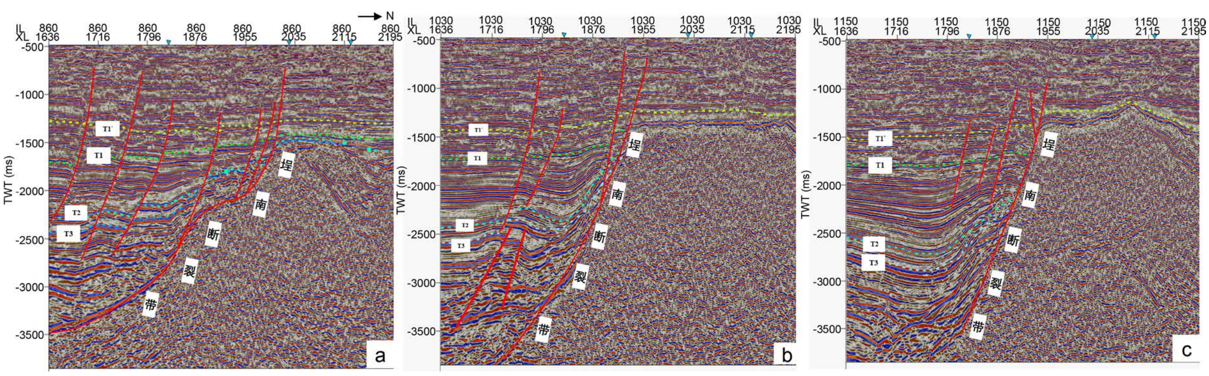

Figure 3. Seismic section difference map of different segments of Chengnan fault zone (the position of the tangent line is shown in Figure 1, (a) Inline860 line; (b) Inline1030 line; (c) Inline1150 line)
图 3. 埕南断裂带不同段地震剖面断裂差异图(切线位置将图 1，(a) Inline860 测线；(b) Inline1030 测线；(c) Inline1150 测线)

多期构造演化不仅仅是对前期构造演化的继承，还存在对明显的差异性，部分断裂垂向呈“似连非连”特征，反映了应力场状态的转换。应力场转换早期与晚期阶段，断层存在明显的产状差异。由(图 4(a))可知，同一条断层早期整体为北倾－低角度逆断层，垂向断层发育穿层性差，长度较短，纯剪应力作用下组合发育为堑垒构造，晚期断层整体为南倾－高角度单断式正断层，在单剪应力场作用下，次级断层与主断层伴生、派生发育，整体构成花状构造。与研究区相比，埕东断裂带与埕南断裂带差异明显，上部阶梯状断层不再发育，断裂活动集中在边界断层周围。早期断层也主要集中在边界断层附近，晚期断层产生一系列“似花状”次级断层，馆陶组内发育同沉积变形构造(图 4(b))。

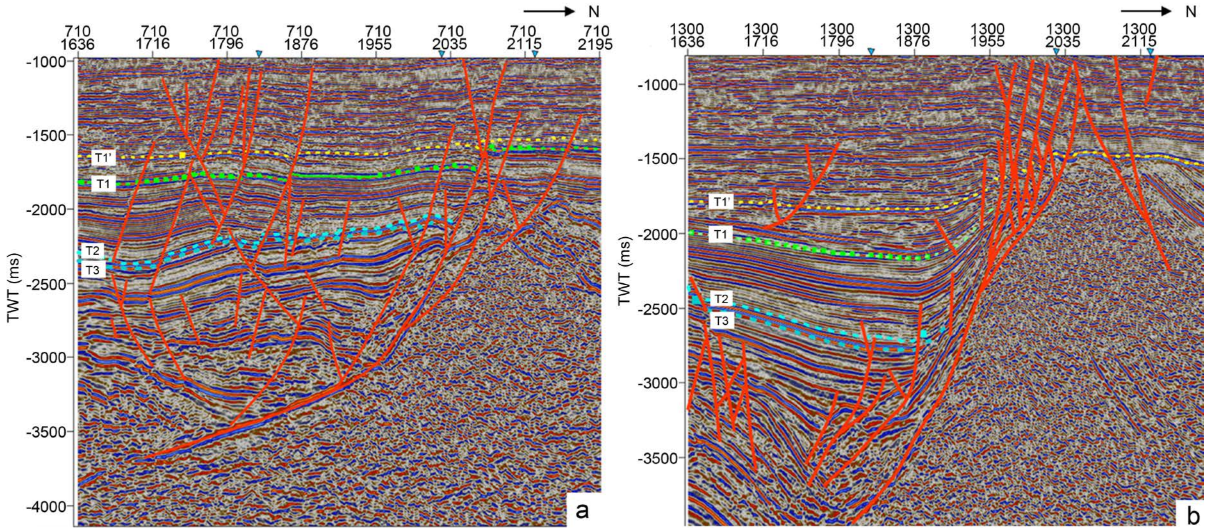

Figure 4. Difference map of typical fracture tectonic features in the study area and neighboring areas ((a) Chengnan area Inline710 line; (b) Chengbei area Inline1300 line)

图 4. 研究区典型断裂特征与邻区构造差异图((a) 埕南地区 Inline710 测线；(b) 埕北地区 Inline1300 测线)

3.3. 断层活动特征

研究区断层长期活动，不同地质活动时期、不同走向断层之间存在差异。西段最先发育活动，控制了研究区整体的演化活动过程。中、东段于燕山期开启[5]，活动强度较大，停止活动时间晚，大部分至明化镇末期才停止活动，控制了后期盆地的形成。NE 向及近 EW 向断层于燕山期开启，随后 NW、NE 及近 EW 向断层持续继承性发育到第四纪。

研究选取研究区 3 条地震剖面及沿层走滑量地震切片，剖面位置标记如图 4 所示，定量分析埕南断裂带西、中、东三段的断层活动差异，绘制断层活动旋回图来研究断层的活动强度、活动期次和发育特征：

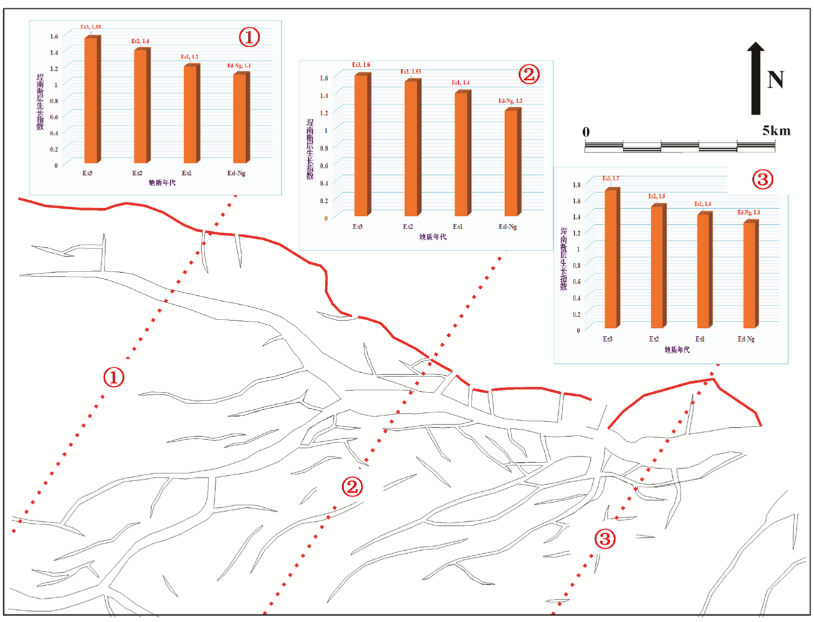

Figure 5. Activity calculation results of different parts of Chengnan fault (see ①, ②, ③ for section location)

图 5. 埕南断层不同部位活动性计算结果(剖面位置见①、②、③)

综合研究区断层活动速率及活动期次[6]，分析研究区断层发育发现：Es3 期为次级断层主要形成及活动期，断层活动强度较大，先存的一、二级断层活动强度较次级断层明显，分析应力传递过程中大断层对应力传递有明显的遮挡作用；Es2 期为相对平静期，活动的断层数量少，埕南断裂断层活动规模小，强度低，走滑相对减弱，走滑量 200~400 m。Es1 为断层复活期，但相对 Es3、Es2 期，活动强度明显降低。Es1 期次级小断层数量明显增多，断层活动性有所增强，次级断层相比主断裂活动强度较小；Ed 期主断层活动强度相对减弱，次级断裂活动强度有所增强，走滑性质明显，走滑量 400~600 m。至 Ng 期，断层活动强度明显减弱(图 5)。总的来说，埕南断裂是多期多段式活动断层的组合，沿埕东凸起自西向东断层活动强度逐渐增强，活动期次逐渐变晚，其活动强度大的区域主要发育板式断裂，活动强度大中等的地区以铲式断裂为主，构造活动最弱的地区则以坐椅式断裂为主，这与前面的埕南断裂带剖面断层形态相吻合[5]。

4. 构造演化

埕南断裂带位于沾化凹陷的北部，在埕南大断层与埕东大断层的转换带，是继承性发育的断裂体系，其构造演化不仅受郯庐构造带运动的影响，也受埕南断裂分段构造演化的影响，控制着渤南洼陷及埕东凸起的演化。本次研究选取过研究区地震剖面，通过区域构造演化的约束[14]，绘制构造演化剖面图(图 6)，对研究区构造演化进行恢复。

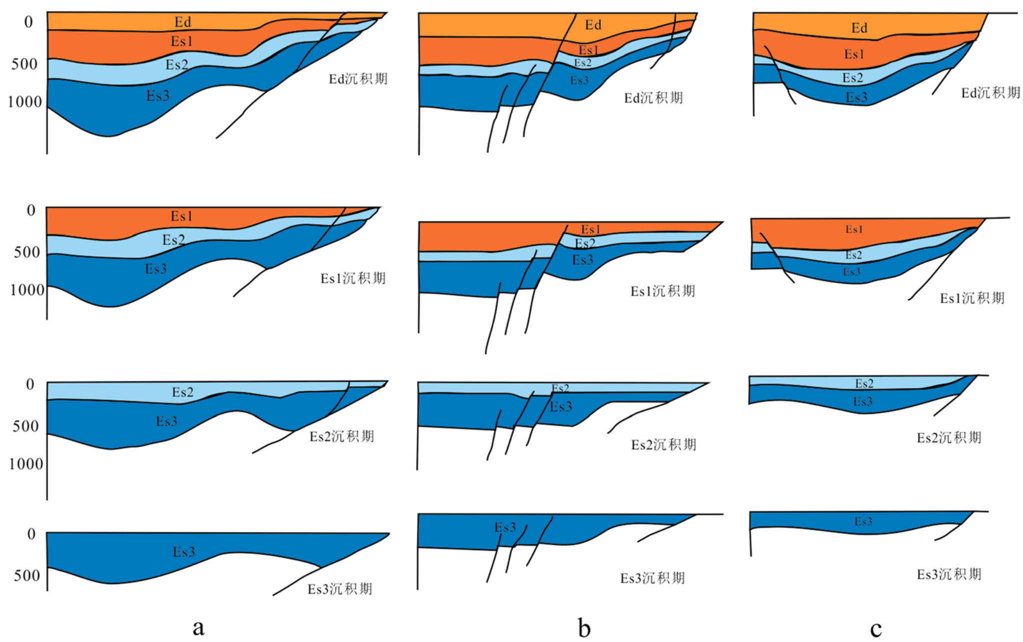

Figure 6. Schematic diagram of the structural evolution of the Chengnan fault zone in the northern belt of the Bonan subsag (according to the Geological Institute of Hekou Oil Production Plant, (a) West section of Chengnan fault zone; (b) Middle section of Chengnan fault zone; (c) East section of Chengnan fault zone)

图 6. 渤南洼陷北带埕南断裂带构造演化示意图(据河口采油厂地质研究所，(a) 埕南断裂带西段；(b) 埕南断裂带中段；(c) 埕南断裂带东段)

1) 挤压逆冲阶段

晚侏罗世－白垩纪包括研究区在内的整个渤南洼陷都处于郯庐断裂带左旋剪切应力场，在持续的 NE-SW 向拉分作用下，埕南等逆冲断裂带沿逆冲断面发生构造反转，造成埕南断裂带由构造隆起区沉降为凹陷区[15]，形成研究区凹凸格局的形成。

2) 斜向伸展断陷阶段

孔店–沙四期(Ek-Es_4)是研究区构造演化过程中一次重要的构造转型期，包括研究区在内的整个渤南洼陷受郯庐断裂带影响，由左旋剪切应力场转换为右旋剪切应力场。该阶段是斜向伸展断陷初始发育阶段，沉积了孔店、沙四段地层。进一步可将孔店期和沙四期划分为裂陷 I 幕和裂陷 II 幕[16] [17]，裂陷 I 幕时期断陷扩张强烈，控制研究区箕状盆地演化进程。裂陷 II 幕断层走向以 NE 和近 EW 向为主，边界主断层活动强烈，控制了洼陷沉积区北东向的拉张，在主干上盘处形成次级断层，与埕南断层呈 Y 字型相交；地层明显翘倾，说明沉积受控于断裂的活动。

3) 断陷扩张阶段

沙三期–东营期(Es_3-Ed)为裂陷 III 幕、IV 幕，形成断陷湖盆雏形。研究区继承孔店–沙四期构造格局，北东向断层强烈活动，郯庐断裂带持续右旋剪切作用使断裂活动以强–弱–强–弱的幕式进行，使先存断层进一步继承性发育，次级派生、伴生断层切割前期断裂，使洼陷内出现多个沉降中心，沙三段地层沉积最厚，沙二、沙一、东营段地层沉积较薄且厚度差异较大，埕南断裂带中段近物源区沉积较厚，向东、西两段厚度逐渐减薄；埕东凸起物源区砂砾岩体分期发育也是受该时期幕式旋回驱动形成，造成地层北厚南薄，裂陷扩张明显。受埕南断裂带单断作用控制，研究区构造反转，出现短暂地层抬升，沙三–东营段地层断层复杂切割区极易遭受剥蚀，并在埕南断层边缘处出现角度不整合(图 7)。

4) 热沉降阶段

新近纪(Ng-Nm)渤南洼陷整体处于热沉降及快速沉积阶段。该阶段大多数断层基本停止活动，基底变化逐渐趋于静止。地层沉积厚度较大且均匀，沉积沉积相带由南向北由渤南洼陷向埕南断裂带迁移。在持续右旋作用下，埕南断裂带北西段断裂呈西南向散开、北东向收敛的帚状展布。

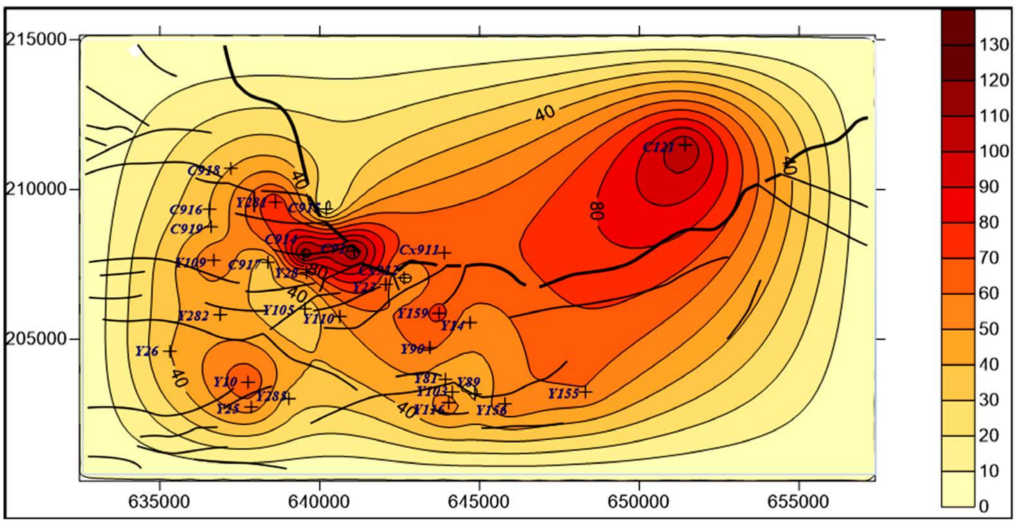

Figure 7. Es_1 period denudation thickness map in the northern zone of Bonan subsag
图 7. 渤南洼陷北带 Es_1 期剥蚀厚度图

总体而言，现今研究区复杂断裂是多期构造活动叠加的结果。多期构造演化不仅仅是对前期构造演化的继承，还存在明显的差异性。研究区在继承中生代早期 NW 向凹凸格局的基础上，断层走向在燕山–喜山期研究区左旋走滑至右旋走滑应力场的转换下，由 NW 向向 NE 向、近 EW 向的转换。经过 NE 向走滑断裂、近 EW 向(NEE 向)拉张断裂的改造，造就了现今研究区复杂构造形态、断裂体系及沉积类型。

5. 成因机制分析

前人研究表明，研究区与济阳坳陷具有相似的构造应力场背景，大多数观点认为[5] [18] [19] [20]郯庐断裂带不同时期的构造活动，对于渤南洼陷北带埕南断裂带的形成、演化和改造都有着重要的影响。本文依据不同时期郯庐断裂带的活动规律，结合断层发育的安德森模式，从已有的地震解析成果来看，通过断层产状和共轭断层面来判断研究区应力方向，进而根据郯庐断裂带应力场变化与埕南断裂带演化的阶段性的匹配关系对断裂成因进行分析。

燕山早期华北板块沿 NE 向与扬子板块发生挤压碰撞，导致研究区 NW 向逆冲断层的发育。燕山中、晚期，西太平洋区伊泽奈崎板块高速沿 NNW 向俯冲于东亚大陆之下，郯庐断裂、沧东－兰聊断裂等形成，并发生左行走滑平移。此时研究区整体被左旋剪切应力场控制，受 NE-SW 向拉张。在渤南洼陷北带 NW 向逆冲断层转为 NW-SE 的张性正断层，形成负反转构造。

对于郯庐断裂带在新生代的活动，前人大多数观点认为郯庐断裂带在新生代经历了左旋走滑挤压到右旋走滑拉张的转变，其应力场变化可以分为 3 期，即孔店－沙四期、沙三－东营期、馆陶－明化镇期，平面上可分为 3 段(西段：埕南断裂带西北向断裂；中段：埕南断裂带近东西向断裂；东段：埕南断裂带北东向断裂)。通过对埕南断裂带三段构造特征研究表明，郯庐断裂带具有明显的张扭特征，时而左旋，时而右旋；研究认为：

孔店－沙四早期，研究区继承燕山期左旋走滑挤压活动方式；晚期太平洋板块沿 NWW 向俯冲于东亚大陆之下，印度板块与欧亚板块强烈挤压碰撞，俯冲于欧亚板块之下，该时期郯庐断裂带、沧东－兰聊断裂带等经历了左旋走滑挤压到右旋走滑拉张的转变。根据库伦－莫尔破裂准则，剪切应力转换过程中的应力差值控制了剪切破裂发育，如在应力转换期，研究区受 NW-SE 向拉张作用及差应力的联合影响，次级断层集中发育于埕南断裂带西部。

沙三－东营期，由于西太平洋区伊泽奈崎板块及印度板块对区域应力的控制，郯庐断裂带仍处于右旋剪切应力场中。一般认为区域构造应力场控制三级以上断层的发育根据构造应力场解释原理，伸展断层走向受控于平面剪应力，右旋剪切应力场中最易形成与右旋剪切性质相同的的剪切破裂断层和与最小主应力方向垂直的张破裂断层，如研究区主要受 NW-SE 向拉张，断层强烈活动及大量新生次级断层发育，形成大量具有右旋性质的 NE 断层、垂直于最小主应力的 NEE 向断层。

中新世以来，在西太平洋弧后扩张响应下[15]，研究区进入热沉降阶段和强度明显减弱的右旋走滑应力场中，应力场作用明显减弱，仅受轻微 SN 向拉张。

6. 结论

1) 埕南断裂带是在印支期弧形逆冲断层基础上经过负反转作用形成的正断层，是多期多段式活动断层的组合。由西段至东段依次呈上陡下缓的坡坪式、铲式同生正断层及板状正断层，一系列伴生、派生次级断层复杂主断层发育体系，断裂整体表现为“网格化”的断裂系统。

2) 不同构造样式的断层在活动期次及活动强度的差异造就了现今渤南洼陷北部整个断裂带内次一级洼陷古近纪及新近纪的沉积分布特征及成藏特点，以及沿埕东凸起自西向东断层活动强度逐渐增强，活动期次逐渐变晚的特点。新生代以来，郯庐断裂带具有明显的张扭特征，时而左旋，时而右旋。断层的长期继承性活动使研究区整体表现为“北厚南薄，东厚西薄”的沉积特点。

3) 郯庐断裂带不同时期的构造活动，控制着埕南断裂带构造特征及多阶段演化规律。根据研究区断层活动性及平衡剖面分析，结合郯庐断裂带将研究区演化划分为 4 个阶段：晚侏罗世－白垩纪：挤压逆冲阶段；孔店－沙四期：斜向伸展断陷阶段；沙三期－东营期：断陷扩张阶段；新近纪：热沉降阶段。

4) 郯庐断裂带不同时期的构造活动控制着渤南洼陷北带断裂形成、演化和改造的过程。其应力变化与研究区演化相匹配划分分为燕山期、孔店－沙四期、沙三－东营期、馆陶－明化镇期。新生代以来，郯庐断裂带左旋走滑挤压到右旋走滑拉张应力场的根本性变革，是研究区复杂断裂形成的控制性因素。可以认为：研究区新生代发育的 NE、近 EW 及 NW 向正断层都是郯庐断裂带右旋剪切、多期伸展叠加作用的结果。

基金项目

国家自然基金面上项目(42072234)、国家科技重大专项(2017ZX05013-006-003)。

参考文献

[1] 刘家铎, 吴富强, 田景春. 胜利油区渤南洼陷沙四上段沉积环境分析[J]. 矿物岩石, 2001(3): 8-15.

[2] 孙锂. 埕南断裂带沙三段有效储层特征及成因[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2018.

[3] 刘岩. 济阳坳陷走滑构造特征及油气分布规律研究[D]: [博士学位论文]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2016.

[4] 王艳. 沾化、车镇凹陷盆地结构特征分析[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国石油大学, 2011.

[5] 武奉霞. 埕南断层演化规律研究[J]. 内蒙古石油化工, 2014, 40(16): 119-121.

[6] 李克成, 蒋有录, 万涛, 刘魁元, 刘华, 郭富欣. 济阳坳陷埕东地区断层输导与油气运移特征[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(5): 685-692.

[7] 石先滨. 沾化凹陷埕南断裂带沙四段——沙二段沉积体系研究及有利目标体预测[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 中国地质大学, 2011.

[8] 李梦萍. 渤南洼陷断层发育特征研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2017.

[9] 马晖. 济阳坳陷下第三系构造特征及其对层序的控制作用[D]: [博士学位论文]. 广州: 中国科学院研究生院(广州地球化学研究所), 2005.

[10] 张玥, 昝灵, 张坤. 渤南洼陷北部陡坡带沙四上亚段–沙三下亚段砂砾岩沉积特征[J]. 石油天然气学报, 2014, 36(1): 10-13+4.

[11] 谭俊敏. 埕南地区砂砾岩扇体储层的预测及效果[J]. 石油地球物理勘探, 2004(3): 310-313+246-369.

[12] 武恒志, 蒋琳. 埕南断裂带 913 区块沙河街组三段砂砾岩体成藏条件分析[J]. 成都理工学院学报, 2001(2): 158-163.

[13] 任建业, 于建国, 张俊霞. 济阳坳陷深层构造及其对中新生代盆地发育的控制作用[J]. 地学前缘, 2009, 16(4): 117-137.

[14] 畅通. 渤南北带沙河街组砂砾岩体沉积及储层特征研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2017.

[15] 罗霞. 埕东构造带构造演化及其对新近系油气成藏的控制[J]. 特种油气藏, 2018, 25(5): 14-18.

[16] 冯有良, 周海民, 任建业, 郑和荣, 苗顺德. 渤海湾盆地东部古近系层序地层及其对构造活动的响应[J]. 中国科学: 地球科学, 2010, 40(10): 1356-1376.

[17] 周建勋, 周建生. 渤海湾盆地新生代构造变形机制: 物理模拟和讨论[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2006(6): 507-519.

[18] 朱光, 王道轩, 刘国生, 宋传中, 徐嘉炜, 牛漫兰. 郯庐断裂带的伸展活动及其动力学背景[J]. 地质科学, 2001(3): 269-278.

[19] 张奎华, 薛雁, 吴智平, 聂文龙, 胡加山. 济阳坳陷新生代盆地结构差异性及成因机制[J]. 地质科学, 2016, 51(2): 561-575.

[20] 张岳桥, 董树文. 郯庐断裂带中生代构造演化史: 进展与新认识[J]. 地质通报, 2008(9): 1371-1390.