

鲁北济阳坳陷沾化凹陷东部潜山的发育及油气成藏控制因素

林会喜¹, 方旭庆¹, 李 凌¹, 林玉祥¹, 刘 华¹, 李 伟², 吴智平²

LIN Hui-xi¹, FANG Xu-qing¹, LI Ling¹, LIN Yu-xiang¹,

LIU Hua¹, LI Wei², WU Zhi-ping²

1. 中国石化胜利油田有限公司地质科学研究院, 山东 东营 257015;

2. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东 东营 257061

1. *Geological Science Research Institute of Shengli Oilfield, Sinopec, Dongying 257015, Shandong, China;*

2. *School of Geo-Resource and Information, China University of Petroleum (East China), Dongying 257061, Shandong, China*

摘要:通过对沾化凹陷东部主要断裂发育演化的特征和主要地震测线的平衡剖面、伸展率分析,对该地区潜山发育过程及其与盆地演化的关系进行了研究,并就潜山油气成藏的控制因素进行了分析。结果表明,沾化凹陷东部潜山发育可以划分为早—中三叠世、晚三叠世、早—中侏罗世的潜山发育前期,晚侏罗世—白垩纪的潜山发育期,古近纪的潜山改造、定型期和新近纪—第四纪的潜山成藏期,断裂活动是本区潜山形成演化的主控因素。沾化凹陷东部潜山油气成藏主要受控于该区中、新生代盆地的叠合关系,中生代凸起和古近纪凹陷的叠合部位是最有利的潜山油气成藏区,中生代凸起和古近纪凸起的叠合部位不利于潜山成藏,往往形成潜山披覆背斜油气藏。

关键词:鲁北;沾化凹陷;潜山;油气成藏;盆地演化;叠合关系

中图分类号:P531;P618.130.2

文献标识码:A

文章编号:1671-2552(2006)09-10-1160-08

Lin H X, Fang X Q, Li L, Lin Y X, Liu H, Li W, Wu Z P. Development of buried hills of the eastern Zhanhua subbasin, Jiyang depression, northern Shandong, China and controlling factors of the formation of petroleum accumulations. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(9-10):1160-1167

Abstract: Based on the characteristics of the development and evolution of main faults and balanced cross sections and extensional rates of the main seismic profiles, the development of buried hills and its relationship with basin evolution in the east of the Zhanhua subbasin were studied and the controlling factors of the formation of buried hill oil-gas accumulations were analyzed. The development of the buried hills in the study area experienced the early stage of Early-Mid Triassic, Late Triassic and Early-Mid Jurassic development of buried hills, the stage of Late Jurassic to Cretaceous development of buried hills, the stage of Paleocene reworking and finalization of buried hills and the stage of Neogene to Quaternary reservoir formation of buried oil-gas accumulations. The activity of faults was the main controlling factor for the formation and evolution of buried hills. The formation of buried hill oil-gas accumulations in the east of the Zhanhua subbasin was mainly controlled by the superposition of Meso-Cenozoic basins in the area. The site of superposition of the Mesozoic uplift and Paleogene subbasin is most favorable for the formation of buried hill accumulations, while the site of superposition of the Mesozoic uplift and Paleogene subbasin is unfavorable for the formation of buried hill accumulations, where buried hill drape anticlinal traps usually formed.

Key words: Zhanhua subbasin, northern Shandong; buried hill; formation of petroleum accumulations; basin evolution; superposition relationship

收稿日期:2006-02-06;修订日期:2006-06-23

科技项目:国家油气专项之《华北前第三系油气资源战略调查及评价》课题(编号:XQ-2004-03)资助。

作者简介:林会喜(1969-),男,博士,高级工程师,从事油气勘探研究工作。E-mail:Linhuixi@slof.com

沾化凹陷位于济阳拗陷东北部,其西北以义和庄、埕东凸起与车镇凹陷相隔,南部与陈家庄凸起相接,东南以垦东凸起为界。作为济阳拗陷内部的一个次级构造单元,沾化凹陷发育于华北古生代地台基础之上,中、新生代经历了印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动多期次的构造演化阶段,断裂是其内部最主要的构造变动形式。潜山油气藏是沾化凹陷内一类重要的高产油气藏,其东部发育有孤西、长堤-孤东2个NW向的潜山带,分别由埕东潜山、孤北低潜山、孤岛潜山、垦利潜山、长堤潜山、孤东潜山等组成。前人研究表明,这些潜山的发育始于中生代,后期陆续受各种构造运动的改造定型于新生代晚期^[1],但具体形成演化过程尚不能确定。本文通过对研究区内主要断层发育演化特征的研究和穿过研究区潜山构造带的主要地震测线的详细解释、平衡剖面的分析,对潜山的发育、改造、定型过程及其与盆地演化的关系进行了研究,并在此基础上对潜山油气成藏的主要控制因素进行了分析。本文的研究对于本区乃至整个济阳拗陷的古潜山油气藏勘探实践具有一定的指导意义,同时对于了解该地区古生代以来的构造演化过程也具有一定的理论意义。

1 沾化凹陷东部主要断层的发育演化特征

研究表明,沾化凹陷及其所在的济阳拗陷在中生代前为稳定的内陆拗陷发育阶段,断层的发育时期主要为中、新生

代,与研究区内潜山的发育演化时期相吻合。潜山带位于孤西、长堤大断层的上升盘,且被其他断层所分割,断层活动是控制本区潜山形成演化的主要因素,因此本文首先对研究区内主要断层的发育演化特征进行分析,以了解断层发育对潜山形成、演化的控制作用。

沾化凹陷断层发育极为复杂,平面上具“网格化”特征(图1),依据断层走向,可将本区主要断层划分为NW向和NE向2组,各断层的产状要素见表1。

(1) 北西向断层组

沾化凹陷北西向断层组自西向东由罗西、孤西、长堤3条断层组成。前人研究表明,北西向断层在晚三叠世经历了逆断层发育阶段,经过早—中侏罗世的过渡阶段,从晚侏罗世开始进入正断层发育阶段,自西向东3条断层的活动峰值依次出现在晚侏罗世—早白垩世、孔店期、沙河街组第四段时期,且活动强度依次增大;从断层的消亡时期来看,罗西断层、孤西断层、长堤断层依次为沙河街组第四段时期、沙河街组第三段时期和沙河街组第二段时期,表现出由西向东、由早到晚的规律^[2-4]。

(2) 北东向断层组

北东向断层组系新生代构造活动的产物,其中北部控盆的义南、义东、埕东3条边界断层活动始于孔店—沙河街组第四段时期,活动高峰出现在沙河街组第三段—第二段时期,

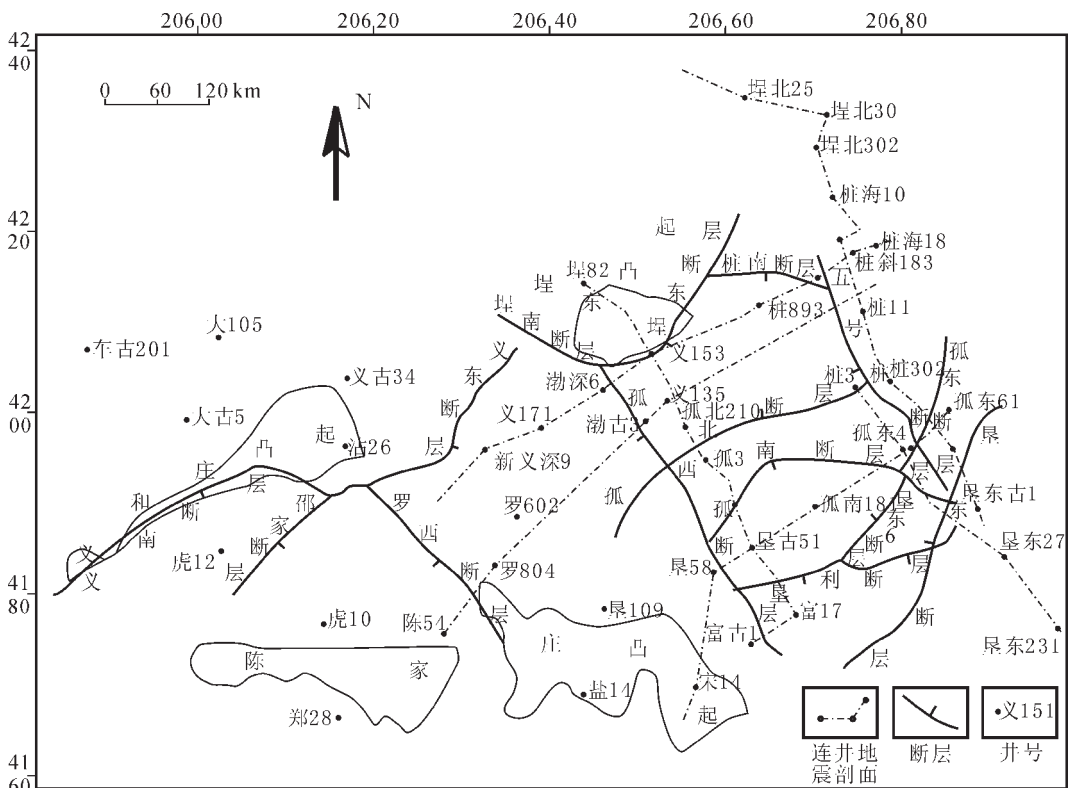


图1 沾化凹陷主要断裂及连井地震剖面位置

Fig.1 Distribution of main faults and connecting-well seismic profiles in the Zhanhua subbasin

表1 沾化凹陷主要断裂产状要素
Table 1 Attitudes of main faults
in the Zhanhua subbasin

断层组	断层名称	走向	长度/km	倾角
北西向 断层组	罗西断层	310~320°	25	40°
	孤西断层	335~340°	25	50~55°
	五号桩断层	330~340°	40	45~55°
北东向 断层组	义南断层	65°	50	55°
	义东断层	30°	20	65~70°
	埕东断层	25~30°	20	55~60°
	垦东断层	15~20°	50	60~65°
	垦东6断层	55~60°	15	45~50°
	孤东断层	30~40°	20	65~70°
	阜利断层	80~85°	30	40~45°
	孤南断层	70~75°	42	45~50°
	孤北断层	70~75°	32	40~45°
	桩南断层	85°	10	65~70°

馆陶期开始衰弱,至明化镇期已基本消亡;其他北东向断层组多为控凹(洼)的次级断层,开始活动的时期多为沙河街组第四段时期,活动高峰期为沙河街组第三段—第一段时期,馆陶期逐渐消亡^[2-4]。

2 沾化凹陷东部平衡剖面及伸展率分析

平衡剖面恢复及伸展率分析是含油气盆地分析的重要

手段,尤其是对垂直于主要构造带走向的地震测线进行平衡剖面恢复能够直观地反映该构造带的发育演化过程。研究表明,本区中生代控盆断层走向为北西向,新生代为北东向^[2-6]。因此,本文在研究过程中分别选取了北东东向和北北西向各3条连井地震剖面进行了平衡剖面恢复(剖面位置见图1),其中北东东向剖面垂直于中生代控盆断层,能够反映中生代控盆断层活动对盆地演化的控制作用(图2);北北西向剖面垂直于新生代控盆断层,能够反映新生代断层活动对新生代盆地演化过程的控制和对前古近纪盆地的改造(图3)。在恢复时遵循了层长守恒原则,没有考虑地层的压实。

在平衡剖面恢复的基础上,本文对各地质时期剖面的长度进行了统计,进而计算了各剖面在不同地质时期的伸展量和伸展率(表2),分析了伸展率随时间的变化规律(图4)。

(1)北东东向剖面伸展率随时间变化的曲线表明:早一中三叠世伸展率为零,在NE—SW方向不存在挤压和拉张;晚三叠世伸展率为负值,盆地受NE—SW向的挤压,存在着NW向的挤压逆推和褶皱;早一中侏罗世伸展率为轻微的负值,构造运动相对稳定;晚侏罗世—白垩纪伸展率明显增大,NW向断层处于张性伸展阶段,盆地在NE—SW向受到强烈的拉张;孔店组—沙河街组第四段时期除宋14—垦古51—孤东61剖面外,其余2条剖面伸展率持续增大,盆地在NE—SW向受到较强烈的拉张;沙河街组第三段—东营期伸展率持续降低,NW向断层活动减弱,趋于停止;新近纪—第四纪伸展率普遍降低,盆地演化趋于稳定。

(2)北北西向剖面伸展率随时间变化的曲线表明:早一中三叠世伸展率为零,在NW—SE方向不存在挤压和拉张;晚三叠世、早一中侏罗世伸展率均为轻微的负值,表明

表2 沾化凹陷东部地震剖面各地质时期的伸展量/伸展率计算结果
Table 2 Amounts and rates of extension in various geological periods
at seismic sections in the east of the Zhanhua subbasin

地质时期	北东东向剖面				北北西向剖面			
	宋14-垦古51-孤东61	罗804-渤占3-义135	新义深9-义153-桩海18	平均伸展率	埕82-孤3-富17	孤东4-垦东27-垦东231	埕北30-桩302-垦东占1	平均伸展率
N+Q	0.33/1.32	0.33/1.12	0.48/1.71	1.38	0.2/0.84	0.31/1.56	0.46/1.09	1.17
Ed+Es ₁	0.13/0.52	0.04/0.14	0.02/0.07	0.24	0.9/3.91	0.23/1.17	0.83/2.00	2.38
Es ₂ +Es ₃	0.45/1.85	0.24/0.82	0.11/0.39	2.51	0.9/4.07	0.24/1.23	1.03/2.54	2.59
Es ₄ +Ek	0.29/1.20	4.16/16.62	3.52/14.43	9.12	0.3/1.38	0.03/0.15	0.3/0.75	0.75
J ₃ +K	1.76/7.88	3.54/16.47	1.99/8.88	11.08	-0.09/-0.41	0.54/2.86	0.77/1.96	1.47
J ₁₊₂		-0.07/-0.32	-0.1/-0.44	-0.26	-0.06/-0.27			-0.09
T ₃	-0.79/-3.42	-0.78/-3.49	-0.24/-1.05	-2.65	-0.12/-0.54	-0.06/-0.3	-0.14/-0.35	-0.41
T ₁₊₂	0/0	0/0	0/0	0	0/0	0/0	0/0	0

注:伸展量的单位为km,伸展率为%,如0.33/1.32为0.33km/1.32%;剖面位置见图1

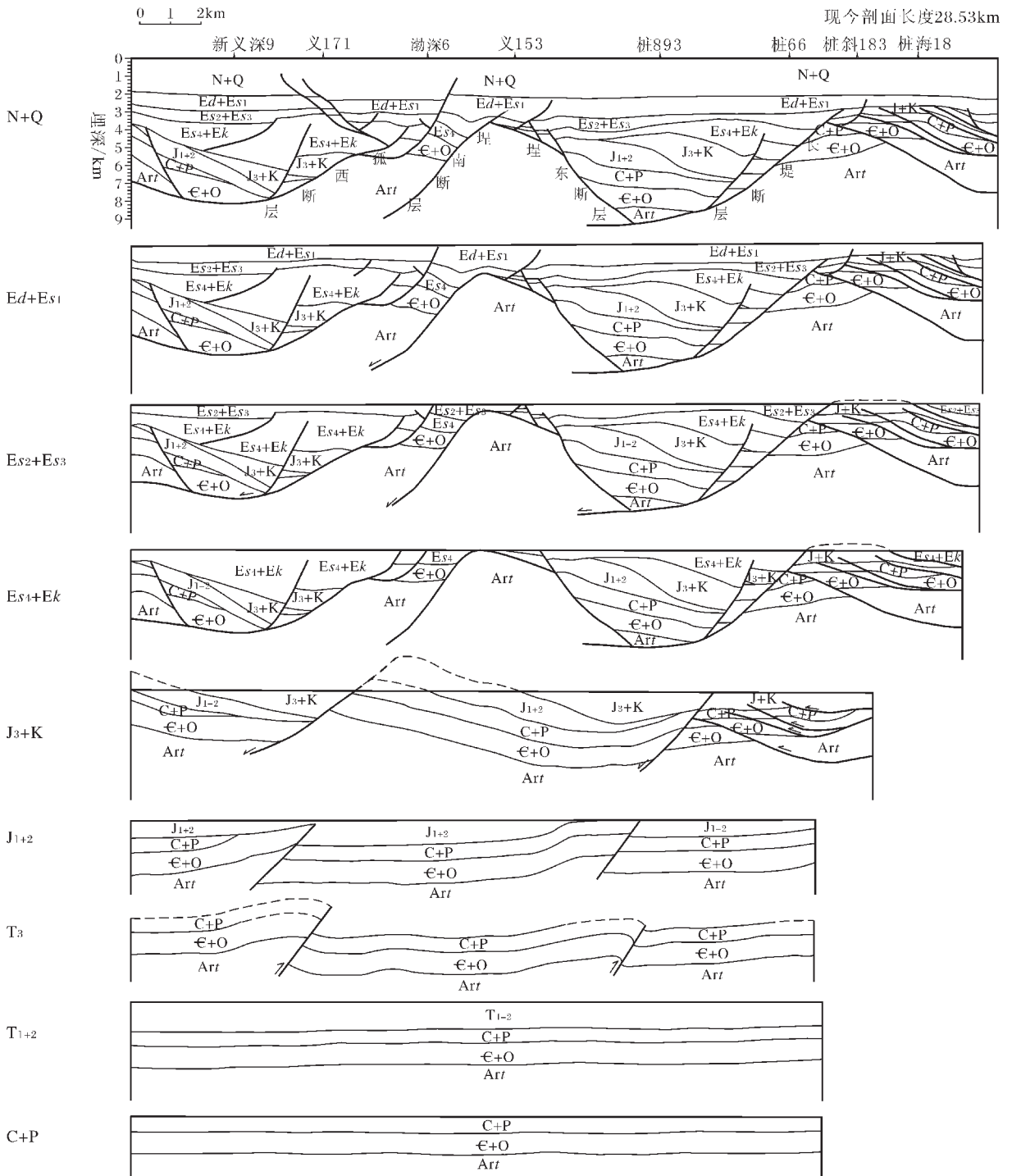


图2 北东东向新义深9-义153-桩海18连井地震剖面平衡剖面分析结果

Fig.2 Analysis of the balanced cross section of the NEE-trending

Xinyishen 9-Yi153-Zhuanghai 18 connecting-well seismic profile

N+Q—新近系+第四系;Ed+Es₁—东营组+沙河街组一段;Es₂+Es₃—沙河街组二段+沙河街组三段;

Es₄+Ek—沙河街组四段+孔店组;J₃+K—上侏罗统+白垩系;J₁₊₂—下-中侏罗统;T₃—上三叠统;

T₁₊₂—下-中三叠统;C+P—石炭系-二叠系;€+O—寒武系-奥陶系;Art—太古宇泰山群

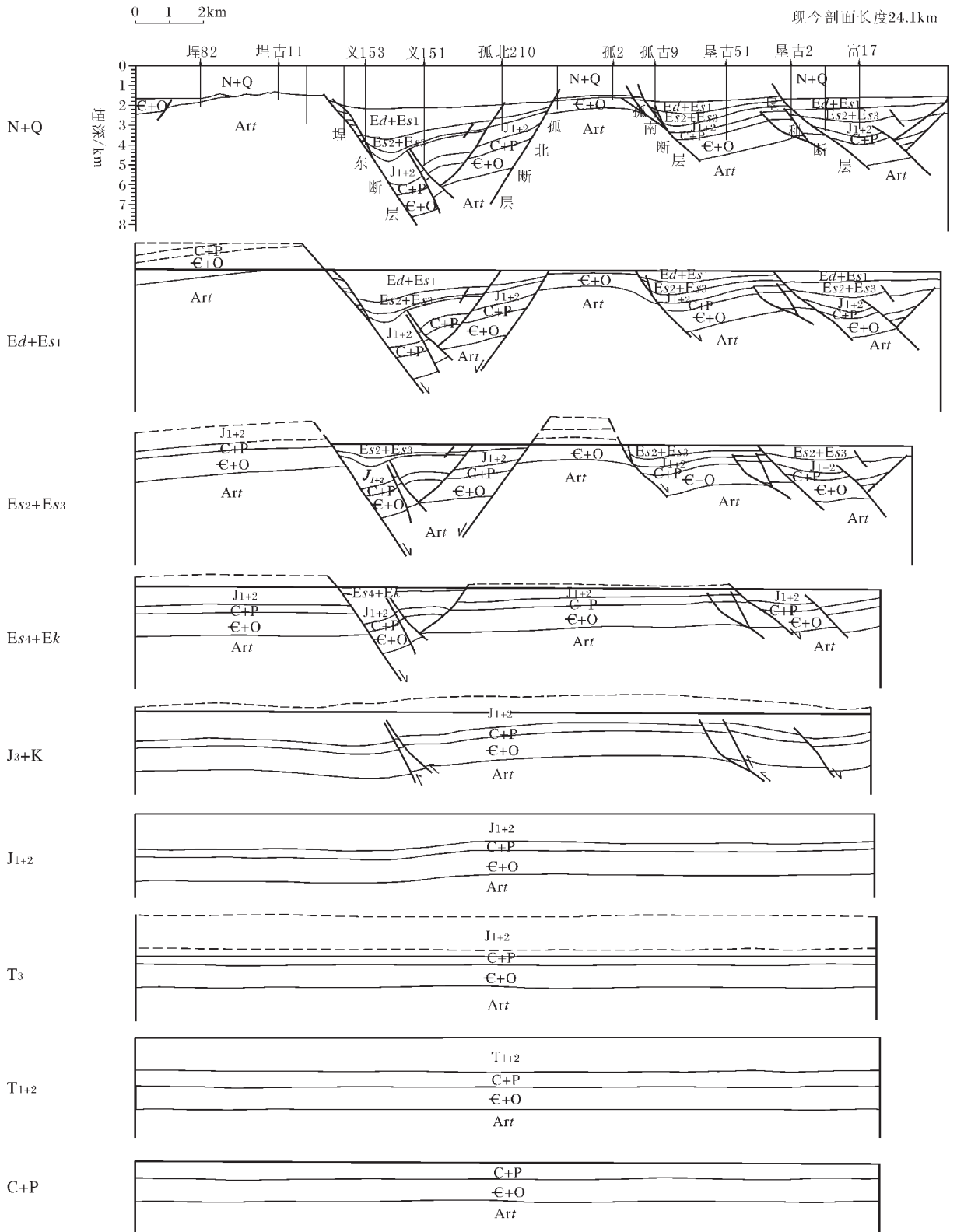


图3 北北西向埕82-孤3-富17连井地震剖面平衡剖面分析结果(各地层代号释义同图2)

Fig.3 Analysis of the balanced cross section of the NNW-trending Cheng 82-Gu3-Fu17 connecting-well profile

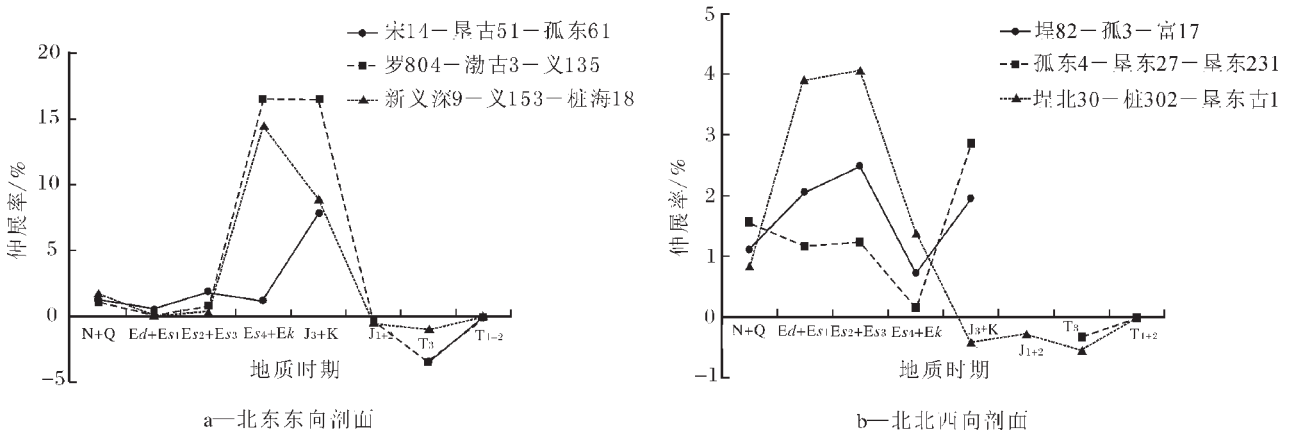


图4 沾化凹陷东部各剖面伸展率随时间的变化曲线
 Fig.4 Curves showing the variation of extensional rates with time of various sections in the east of the Zhanhua subbasin

当时除NE—SW向的挤压外,还存在NW—SE向的轻微挤压;晚侏罗世—白垩纪埭82—孤3—富17井伸展率为轻微的负值,其余2条剖面均为正值,表明该方向拉张的存在;孔店组—沙河街组第四段时期伸展率相对较低,进入沙河街组第三段—第二段时期伸展率明显增大,沙河街组第一段—东营期伸展率轻微降低,反映了NW—SE向拉张由弱→强→弱的变化;新近纪—第四纪伸展率普遍降低,盆地演化趋于稳定。

综合各剖面的平衡剖面及伸展率的分析结果,结合本区断裂发育演化的特征,可以将本区古生代以来的构造应力场的特征总结如下(图5)。

早—中三叠世本区继承了晚古生代的盆地演化背景,为稳定内陆拗陷发育阶段,地层横向沉积稳定;晚三叠世受NE—SW向压应力控制,本区开始发育NW向逆冲断层及褶皱;早—中侏罗世继承了晚三叠世的应力场特征,但应力大小减弱,逆冲断层活动性降低,盆地演化进入宁静期;晚侏罗世—孔店期主要受NE—SW向张应力控制,NW向逆断层负向反转;同时还存在着NW—SE向的弱拉张应力,发育规模较小的NE向中生代内幕正断层;沙河街组第四段时期主要受NW—SE向张应力控制,同时存在着NE—SW向的弱拉张应力,NW向断层继续活动,但活动性减弱,NE向边界断层开始发育;沙河街组第三段—东营期主要受NW—SE向张应力分量控制,NE向断层进一步发育,数量增多,NW向断层仅剩五号桩断层继续活动;新近纪以来本区进入区域性拗陷沉降阶段,水平方向应力微弱。

3 沾化凹陷东部潜山的发育与盆地演化的关系

潜山是内外地质营力综合作用的产物,其形成至少经历

过地壳上升隆起遭受剥蚀和地壳下降并被埋藏2个阶段,即前古近系岩层在地应力场的作用下成山,后期被古近系—新近系掩埋^[1]。就沾化东部而言,中、新生代是主要的构造变动期,并伴有大规模的断裂活动,潜山发育也始于此。以潜山的发育、改造及定型过程为主线,可以将研究区中、新生代盆地演化过程划分为潜山发育前期、潜山发育期、潜山改造定型期和潜山成藏期4个主要阶段。

3.1 潜山发育前期(早—中三叠世、晚三叠世、早—中侏罗世)

早—中三叠世本区无断裂及褶皱活动,各剖面伸展率为零,为稳定大型内陆拗陷发育阶段,地层横向沉积稳定,潜山的形成为后期构造作用所致。

晚三叠世是印支运动的主要活动时期,济阳拗陷区整体处于挤压抬升剥蚀状态,并开始发育北西向逆冲断裂和褶皱^[3,5,6]。尽管该时期是本区一次重要的造山期,有可能形成潜山的核部,但是由于后期构造负向反转而被深埋,因此该时期也不是本区潜山的主要形成期。

早—中侏罗世为早燕山旋回期,该时期北西向逆冲断层的活动性有所减弱,本区经历了一个较长时期的截凸填凹、填平补齐的过程,晚三叠世挤压逆冲断层和褶皱造成的本区地势高低起伏,此时被剥蚀均夷,地层沉积具有早期充填、晚期披覆的特点,为构造演化过程中的“宁静期”。

3.2 潜山发育期(晚侏罗世—白垩纪)

晚侏罗世—白垩纪,中国东部大型的走滑断裂系统——郯庐断裂带发生了大规模的左旋走滑活动^[7,8],受左旋走滑应力场的控制,本区先期形成的北西向逆冲构造发生负向反转,沿着早期的断面发生张性伸展,形成了一系列半地堑,为本区首次断块掀斜运动期。

从北东东向新义深9—义153—桩海18剖面(图2)可以看

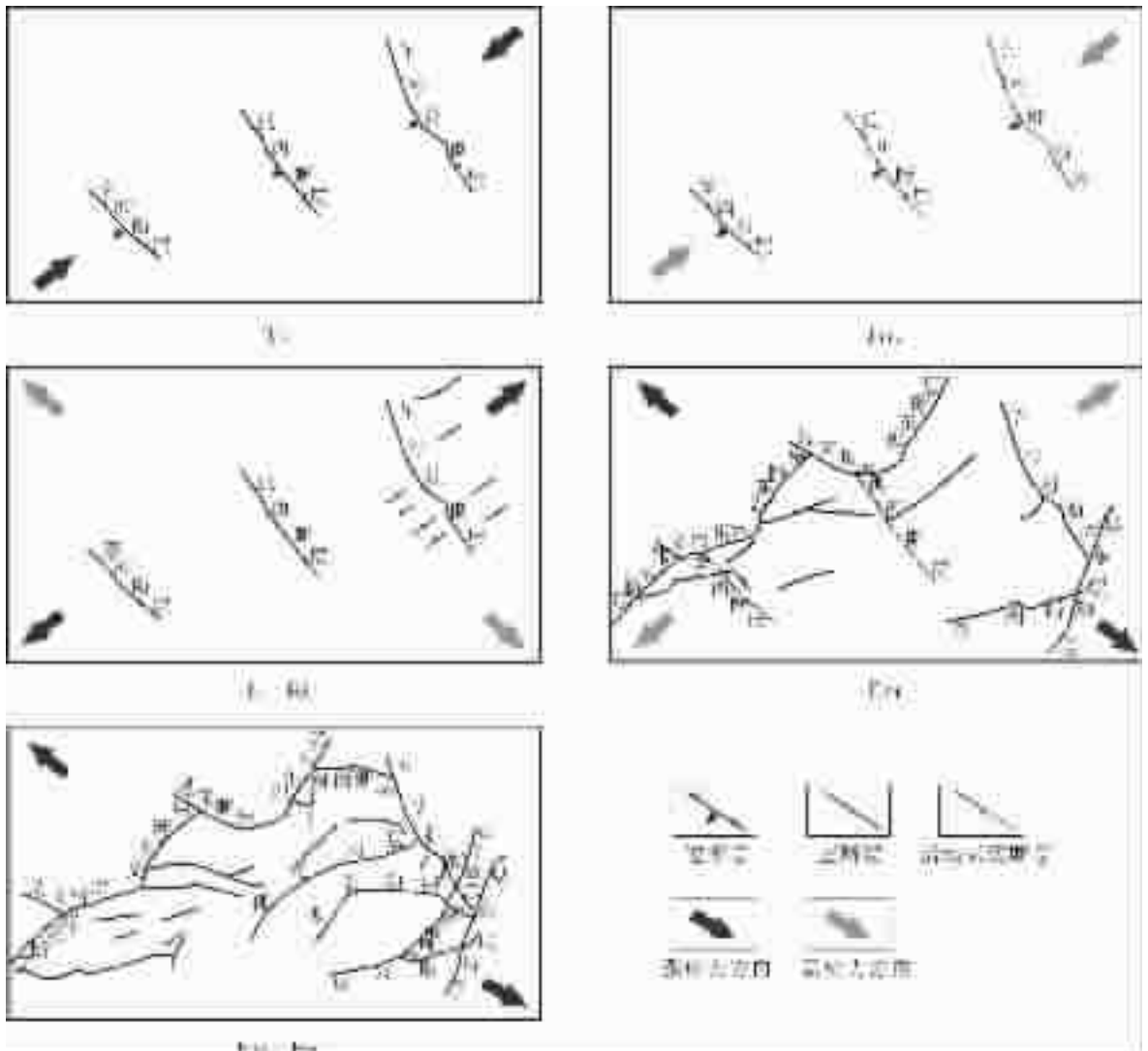


图5 沾化凹陷中、新生代应力场演化过程示意图

Fig.5 Diagram showing the evolutionary process of the Mesozoic and Cenozoic stress fields in the Zhanhua subbasin

出,晚侏罗世—白垩纪本区表现为明显的受北西向孤西、长堤断层控制的断块掀斜运动,扬起端的下一中侏罗统及部分古生代地层遭受剥蚀,为本区潜山的发育期(图6-a),潜山带位于孤西和长堤断层的东部上升盘,类型上属于受同沉积正断层控制形成的块断型潜山。位于孤西断层的东部上升盘北北西向的埕82-孤3-富17剖面(图3)在晚侏罗世—白垩纪表现为下一中侏罗统整体抬升遭受剥蚀,也说明该时期为本区潜山的发育期。

3.3 潜山的改造和定型期(古近纪)

孔店—沙河街组第四段时期为本区构造演化过程中一次重要的构造转型期。晚侏罗世—白垩纪以来本区一直处于裂隙伸展阶段,孔店—沙河街组第四段时期庐庐断裂

的走滑方式发生了由左旋到右旋的转变,派生出NE向的压应力和NW向的张应力,从而使除五号桩断层外的NW向断层的活动性降低并逐渐消亡,NE和NEE向的正断层取而代之成为本区新生代的控盆断层,并切割了先期的NW向控盆断层,使本区断层发育表现为“网格化”的特征,同时NE(E)向断层的断块掀斜运动将中生代晚侏罗世—白垩纪形成的北西向潜山带切割、改造,从而形成了现今研究区内潜山构造“北西成带、网格分布”的格局(图6-b),改造、定型后的潜山为新生代的生油洼陷所包围,具有良好的油源条件。

3.4 潜山成藏期(新近纪—第四纪)

新近纪明化镇组沉积期到现在是沾化凹陷生油岩的主



a—晚侏罗世—白垩纪;b—古近纪

图6 沾化凹陷东部潜山发育及改造过程模式

Fig.6 Model of the development and reconstruction of the buried hill in the east of the Zhanhua subbasin

要成熟、排烃高峰期^①,该时期研究区构造演化趋于稳定,地层以披覆式沉积为主,有利于潜山的油气聚集成藏。

4 中、新生代盆地叠合关系是潜山油气成藏的主要控制因素

潜山及潜山披覆背斜油气藏是本区一类重要的高产油气藏,位于孤西大断层上升盘的孤西潜山带发育有埕东潜山、孤北潜山、孤岛潜山和垦利潜山,位于长堤大断层上升盘的孤东—长堤潜山带发育有长堤潜山和孤东潜山。从中、新生代的叠合关系看,这些潜山大多位于中生代凸起与古近纪凹陷的叠合部位,少数在中生代和古近纪均位于凸起区。

中生代这些潜山均处于晚侏罗世—白垩纪北西向张性断层的上升盘,古生界及基底持续隆升遭受剥蚀、风化淋滤,各种溶蚀孔、洞发育;同时由于长期处于构造高点,应力集中,裂缝发育,这些裂缝不仅可以作为一类重要的储集空间,还可以作为有效的连通通道,改善储集性能。

新生代古近纪北东(东)向断块掀斜运动不仅改造了中生代形成的北西向潜山带,还使其被多个古近系生油洼陷所围绕,同时使得石炭系—二叠系的源岩具备了二次生烃的条件,油、气源条件充足;持续的断块掀斜运动进一步改善了潜山的储集性能,有利于形成富集高产油气藏。

从叠合关系的角度看,中生代凸起和古近纪凹陷的叠合部位是最有利的潜山油气成藏区,断层的大幅度落差和长期不整合的发育使得古近系暗色泥岩与潜山储层直接对接,油气可以直接通过断层和不整合面运移到潜山中成藏;同时这种对接关系使得潜山具备了良好的封闭条件,有利于油气的

聚集保存。在中生代凸起和古近纪凸起的叠合部位,由于缺乏有效的泥岩盖层,来自相邻洼陷的油气往往直接以潜山作为通道运移到新近系中成藏,形成潜山披覆背斜油气藏,因此目前的钻探结果显示,尽管位于这类叠合单元的潜山具备了良好的储集条件,但却未见有良好的油气聚集。

5 结论

(1)对垂直于主要构造带走向的地震测线进行平衡剖面分析和伸展率分析是含油气盆地分析的重要手段,可以有效地反映盆地发育演化过程及其被后期改造程度的强弱。

(2)断裂活动是控制沾化凹陷东部潜山发育演化的主要因素,以潜山的发育、改造及定型过程为主线,可以将研究区中、新生代盆地演化过程划分为潜山发育前期(早—中三叠世、晚三叠世、早—中侏罗世)、潜山发育期(晚侏罗世—白垩纪)、潜山改造定型期(古近纪)和潜山成藏期(新近纪—第四纪)4个主要的阶段。

(3)中生代凸起与古近纪凹陷的叠合部位具有良好的生储盖组合及封闭条件,是最有利的潜山油气成藏区;在中生代和古近纪的凸起区,由于缺乏有效的盖层,油气往往以潜山作为通道直接运移到新近系中成藏,形成潜山披覆背斜油气藏。

致谢:胜利油田有限公司总地质师张善文先生和地质科学研究院总地质师王永诗先生对本文的研究思路和方法提出了宝贵意见,并审阅了文稿,在此表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1]李丕杰,张善文,王永诗,等.多样性潜山成因、成藏与勘探——以济阳拗陷为例[M].北京:石油工业出版社,2003.
- [2]吴智平,李伟,郑德顺,等.沾化凹陷中、新生代断裂发育及其形成机制分析[J].高校地质学报,2004,10(3):405-417.
- [3]李伟,吴智平,周瑶琪.济阳拗陷中生代地层剥蚀厚度、原始厚度恢复及原型盆地研究[J].地质论评,2005,51(5):507-516.
- [4]郑德顺,吴智平,李伟,等.济阳拗陷中、新生代盆地转型期断裂特征及其对盆地的控制作用[J].地质学报,2005,79(3):386-394.
- [5]宗国洪,施央申,王秉海,等.济阳盆地中生代构造特征与油气[J].地质论评,1998,44(3):289-294.
- [6]宗国洪,肖焕钦,李常宝,等.济阳拗陷构造演化及其大地构造意义[J].高校地质学报,1999,5(3):275-282.
- [7]徐嘉炜,马国锋.郟庐断裂带研究的十年回顾[J].地质论评,1992,38(4):316-324.
- [8]朱光,王道轩,刘国生,等.郟庐断裂带的伸展活动及其动力学背景[J].地质科学,2001,36(3):269-278.

① 胜利石油管理局地质科学研究院.沾化凹陷东部地区油气藏富集高产规律与形成条件.1992.