

渤海湾盆地“埕北-垦东”构造转换带形成演化及成藏特征

吴智平¹, 张 勐¹, 张晓庆², 王 迪¹, 程燕君³

[1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 2. 中国海油研究总院, 北京 100028; 3. 山东科技大学地球科学与工程学院, 山东 青岛 266580]

摘要:以渤海湾盆地“埕北-垦东”构造转换带为研究对象,通过几何学特征的静态刻画和形成演化过程的动态分析,系统揭示了该转换带与两侧坳陷及其内部发育演化的时-空差异,明确了油气成藏特征。结果表明,“埕北-垦东”构造转换带呈NW向展布的凸凹格局,被NNE向和NEE向断裂切割改造,与由NEE向伸展断裂主控的济阳坳陷和NNE向伸展-走滑断裂主控的渤中坳陷既有联系又有差异;NW向的埕北-五号桩断裂是新生代盆地的先存基底断裂,对构造转换带的形成起到了决定性作用;在古近纪近SN向区域拉张的背景下,构造转换带受郯庐断裂走滑的影响程度不同,发生了差异演化并出现分区效应;该构造转换带是潜山油气藏发育的有利区带,古近纪的差异演化使得带内埕北、桩海-桩西、长堤-孤东-垦东等不同区段的油气成藏各具特点。对“埕北-垦东”构造转换带的研究有利于指导渤海湾盆地的构造解析及油气勘探实践。

关键词:构造转换带;构造演化;油气成藏;埕北-垦东;渤海湾盆地

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Evolution and reservoir characteristics of the “Chengbei-Kendong” structural transfer zone in the Bohai Bay Basin

Wu Zhiping¹, Zhang Meng¹, Zhang Xiaoqing², Wang Di¹, Cheng Yanjun³

[1. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China; 2. CNOOC Research Institute, Beijing, 100028, China; 3. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266580, China]

Abstract: The “Chengbei-Kendong” structural transfer zone in the Bohai Bay Basin has been geometrically characterized and dynamically analyzed to reveal the temporal and spatial differences between the zone and flanking depressions for clarifying the internal evolution and defining the characteristics of hydrocarbon accumulation. The results show that the “Chengbei-Kendong” structural transfer zone exhibits a NW-trending convex concave pattern, which is offset and transformed by NNE- and NEE-trending faults. It has both similarities and differences with the Jiyang Depression controlled by NEE-trending extensional faults and the Bozhong Depression controlled by NNE-trending extensional strike-slip faults. The NW-trending Chengbei-Wuhaozhuang fault is a pre-existing basement fault within the Cenozoic basin, which plays a decisive role in the formation of the zone. Under a tectonic setting of nearly SN regional extension during the Paleogene, the zone experienced differential evolution due to the different degrees of influence by the strike-slip movement of the Tan-Lu fault zone. The structural transfer zone is a favorable zone for the development of buried-hill oil/gas reservoirs. The differential evolution during the Paleogene controls the hydrocarbon accumulation of the Chengbei, Zhuanghai-Zhuangxi, Changdi-Gudong-Kendong areas within the zone. The results and understanding of this study have theoretical and practical significances for structural analysis and hydrocarbon exploration in the Bohai Bay Basin.

Key words: structural transfer zone, structural evolution, hydrocarbon accumulation, Chengbei-Kendong, Bohai Bay Basin

收稿日期:2022-05-06;修订日期:2022-09-28。

第一作者简介:吴智平(1967—),男,教授、博士生导师,构造地质学、含油气盆地分析。E-mail: wuzp@upc.edu.cn。

通讯作者简介:张勐(1995—),男,博士研究生,油气区构造解析。E-mail: b17010013@s.upc.edu.cn。

基金项目:国家自然科学基金项目(42072169);国家留学基金项目(202106450036)。

引用格式: 吴智平, 张勐, 张晓庆, 等. 渤海湾盆地“埕北-垦东”构造转换带形成演化及成藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(6): 1321-1333. DOI: 10. 11743/ogg20220604.

Wu Zhiping, Zhang Meng, Zhang Xiaoqing, et al. Evolution and reservoir characteristics of the “Chengbei-Kendong” structural transfer zone in the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(6): 1321-1333. DOI: 10. 11743/ogg20220604.

“构造转换带”的概念源于 Dahlstrom 对逆冲推覆构造的研究^[1-2], 后被逐渐扩展至伸展盆地、走滑盆地构造体系^[3-6]。目前, 构造转换带(又称调节带、变换带)是指发育于盆地内部各次级构造单元之间的一种特殊构造带类型, 其有助于维持整个盆地构造应力在三维空间的守恒^[7-8]。根据所调节盆地内构造单元级别的差异, 构造转换带可分为不同级别^[9-10], 一级构造转换带是指坳陷与坳陷、坳陷与隆起之间的分界带, 规模较大, 由一系列位于盆地基底薄弱带的横向断裂带或隐伏褶曲带组成, 往往受先期构造的影响、经后期裂陷作用改造而成; 二级构造转换带是指调节盆地内不同二级构造单元之间伸展和走滑形变的转换带; 三级构造转换带是指调节主断层内部伸展和走滑形变的转换带。作为盆地内部的有利油气富集区带, 构造转换带是近年来盆地构造解析与油气勘探研究的热点^[11-13]。

渤海湾盆地是中国东部重要的含油气盆地, 内部结构复杂, 由多个坳陷、隆起组成, 具有“南北分区”、“东西分带”的特点^[14-17]。在盆地内各次级构造单元之间, 发育有不同级别的构造转换(调节)带, 维持了整个盆地构造变形在三维空间的守恒^[8-9, 18]。“埕北-垦东”构造转换带位于渤海湾盆地东部, 介于济阳坳陷与渤中坳陷之间, 是盆地内重要的一级构造转换带, 其构造样式、演化过程、成因机制、石油地质条件等方面不仅与两侧的济阳坳陷、渤中坳陷存在明显差异^[19-23], 而且在其内部的埕北、桩海、长堤等不同位置也差异明显^[24-30], 存在分段效应。由于“埕北-垦东”构造转换带的南、北部矿权分别隶属于中国石化胜利油田与中国海油渤海油田, 致使资料整合困难。前人仅对该转换构造带内的埕北、长堤等局部地区展开研究, 缺乏系统性、整体性分析, 一定程度上限制了对“埕北-垦东”构造转换带构造发育演化过程的认识以及油气勘探的深入开展。

为此, 本文聚焦渤海湾盆地“埕北-垦东”构造转换带, 整合陆上与海域油田最新钻、测井和地震资料, 刻画了其几何学特征, 分析了其形成演化过程, 系统揭示了其与两侧坳陷及内部发育演化在时-空上的差异。在此基础上, 对比分析了典型油气成藏剖面, 探讨了其构造发育特征对油气成藏的控制作用, 以期对渤海湾盆地的构造解析及油气勘探提供指导。

1 区域地质概况

渤海湾盆地位于华北克拉通的东部, 是一个在古生代基底上形成的中、新生代叠合盆地^[31-32]。中生代以来, 在周缘板块、地幔动力和深大断裂的共同作用下, 渤海湾盆地先后经历了印支、燕山、喜马拉雅等多期构造运动的叠加改造, 形成了“东西分带”、“南北分区”的构造格局^[15, 19]。印支、燕山构造运动期间形成的大型 NW 向、NNE 向先存构造, 在渤海湾盆地新生代构造演化过程中往往成为应力集中区域, 是新生代渤海湾盆地内构造转换带发育的有利部位^[7, 33]。

“埕北-垦东”构造转换带位于渤海湾盆地东部, 介于济阳坳陷和渤中坳陷之间, 由埕北低凸起、埕北凹陷、桩海低凸起、桩西洼陷、桩西低凸起、孤北洼陷、长堤低凸起、孤东低凸起、垦东凸起等次级构造单元组成, 整体表现为 NW 向展布的凸、凹格局被 NNE(近 SN)向和近 EW(NEE)向断裂体系切割改造(图 1a)。地震和钻、测井资料揭示, 研究区自下而上发育太古宇、寒武系、中-下奥陶统、上石炭统、二叠系、中-下侏罗统、下白垩统、古近系、新近系和第四系^[34-35](图 1b)。

2 “埕北-垦东”构造转换带结构特征

“埕北-垦东”构造转换带是发育于渤海湾盆地东部的一级转换带, 其新生代构造格架与两侧的济阳坳陷、渤中坳陷差异明显(图 2)。

西南侧的济阳坳陷新生代构造格局主要受控于埕南、义南和陈南等一系列近 EW 向(NEE 向)的张性断层, 自北向南呈现出凸凹相间的格局, 车镇凹陷、沾化凹陷、东营凹陷均表现为“北断南超”的半地堑(或复式半地堑)结构特征, 体现了明显的拉张效应^[8, 33](图 2a, b)。

东北侧的渤中坳陷与西南侧的济阳坳陷不同, 其新生代 NNE 向展布的构造格局明显受控于郯庐断裂带。作为郯庐断裂带的分支断裂或派生断裂, NNE 向的渤中 1 号、渤东 1 号、庙西 1 号等断裂是渤中坳陷主要的控坳(凹)断裂, 剖面上呈现出“下铲上花”的特点, 体现出走滑与伸展的复合效应^[21-23](图 2a, c)。

“埕北-垦东”构造转换带介于济阳坳陷和渤中坳

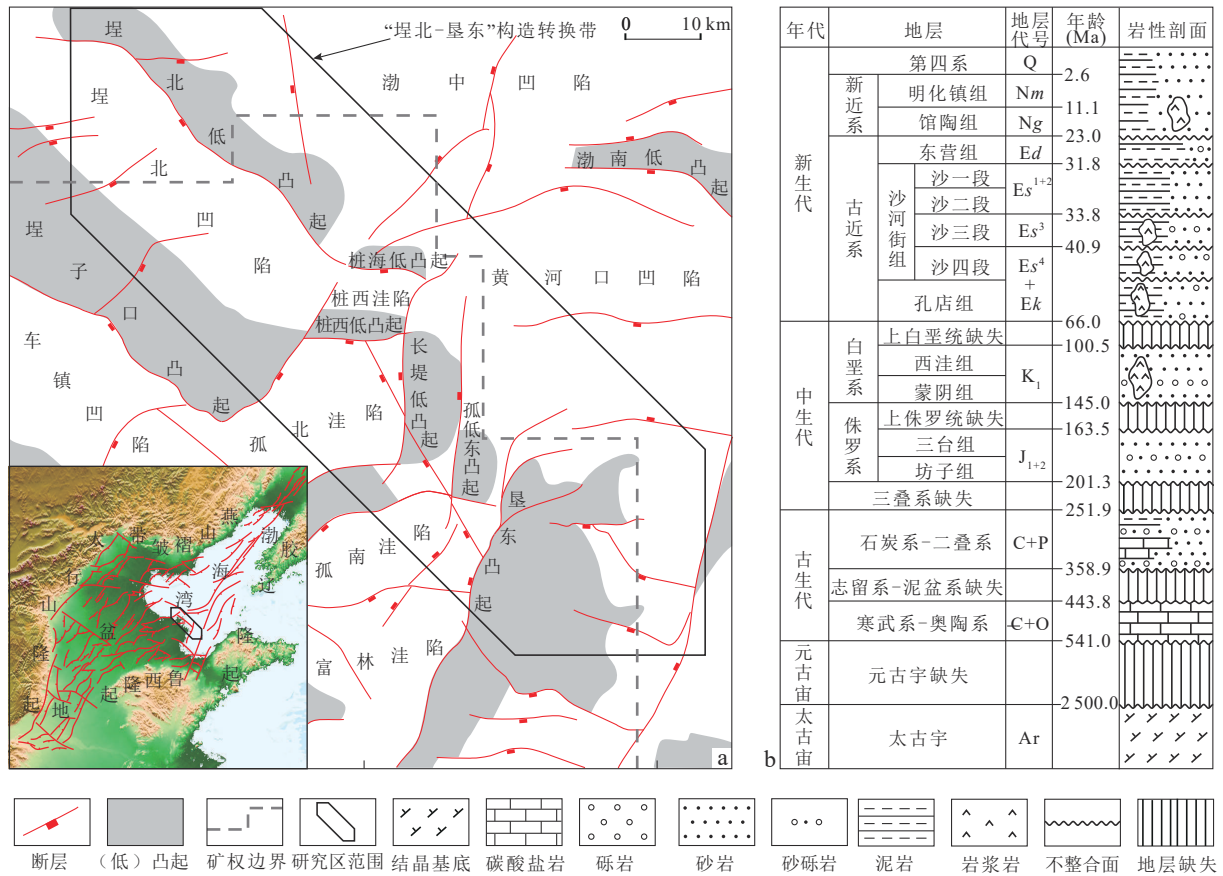


图1 渤海湾盆地“埕北-垦东”构造转换带及其周缘构造区划(a)与地层格架(b)

Fig. 1 Tectonic units (a) and stratigraphic framework (b) of the “Chengbei-Kendong” structural transfer zone and its periphery, Bohai Bay Basin

陷之间,发育NW向、NNE(NE)向、近EW向等多方向断裂和伸展、走滑、反转等多性质断裂。自北西至东南,断裂的组合特征及构造样式差异明显,可划分为3个区域,分别为受NW向反转断层控制的埕北地区、受近EW向张性断层控制的桩海-桩西地区和受NNE向走滑断层控制的长堤-孤东-垦东地区(图3,图4)。

在转换带北段的埕北地区,NW(NNW)向展布的埕北断裂和埕北20断裂等,控制了“东断西超”半地堑结构的埕北凹陷和“西高东低”的埕北低凸起发育。地震剖面显示(图4a),埕北断层呈“上陡下缓”的铲式断层,其上盘的古生界地层从远离断层一侧向靠近断层一侧逐渐减薄,具有明显的“薄底”特征;古生界之上的中-下侏罗统继承了这种向断面方向减薄的趋势;而下白垩统则表现为与古生界、中-下侏罗统厚度变化趋势相反的楔形沉积,表明埕北断层在中生代经历了一期由逆断到正断的负反转过程。埕北断层上盘的古近系超覆于中生界、古生界之上,呈明显的楔形,指示了其在古近纪的继承活动。发育于埕北断层东侧、埕北低凸起之上的埕北20断层,同样经历了中生代的构

造反转过程,控制了埕北低凸起上“中排潜山”的形成,但在新生代很快消亡,在Ek+Es⁴期之后就停止活动(图4a)。此外,该地区还发育了一系列NEE走向的次级断裂,与NW走向的主控断裂形成帚状组合样式,说明该地区在新生代存在一定的走滑效应(图3)。

中段的桩海-桩西地区,夹持于NNE(近SN)向的埕东断裂和长堤断裂之间,又被桩南断层和桩海104南断层等多条近EW向的断裂切割,在古近纪控制了孤北洼陷、桩西低凸起、桩西洼陷、桩海低凸起等次级构造单元的发育。剖面特征表明,该地区各近EW走向的断层主要活动期为古近纪,表现为典型的铲式正断层,桩南断层在深部切割了经历中生代反转过程的NW向的五号桩断层,浅部与次级断层组合成多级“Y”字形(图4b)。尽管该区域夹持在NNE向的埕东断层与长堤断层之间,但是NNE向断裂在该区域新生代垂向活动性明显弱于近EW向断裂(图4c)。

南段的长堤-孤东-垦东地区,其古近纪受控于NNE(近SN)向的长堤、孤东、垦东断层,整体表现为3个沿NW向左阶侧列的(低)凸起(图2a)。断裂系统图

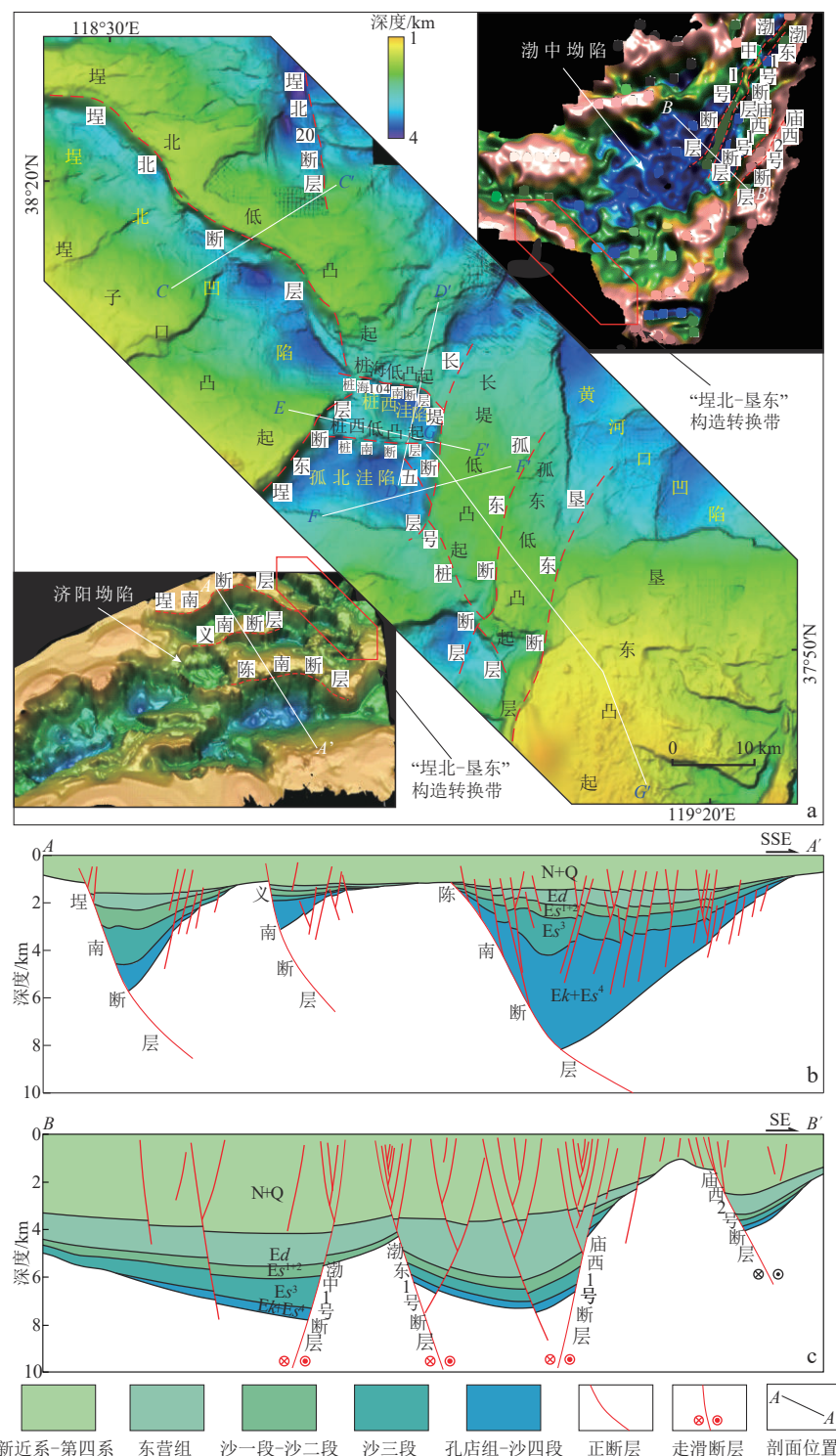


图2 “埕北-垦东”构造转换带与两侧坳陷的盆地结构差异

Fig. 2 Differences in basin structure between the “Chengbei-Kendong” structural transfer zone and its adjacent depressions

a. “埕北-垦东”构造转换带新生界界面立体显示图; b. 济阳坳陷典型地质剖面; c. 渤中坳陷典型地质剖面

显示,这三条断裂在深部平直连续,在浅部由一系列NE向断裂沿NNE向雁列式排列而成(图3)。地震剖面资料显示,这三条断层古近纪垂向断距小、断面相对陡直,浅部与次级断层组成多级“Y”字形或似花状构造,体现了较强的走滑效应(图4d,e)。值得关注的

是,尽管该区域新生代主要受控于NNE向走滑断层,但在深部层系发育了一条NW向断层——五号桩断层,该断裂往北延伸可与埕北断裂相接,且具有与埕北断层相似的“由逆到正”反转过程所形成的“薄底”现象(图4d)。区别于埕北断层,五号桩断层在经历了中生

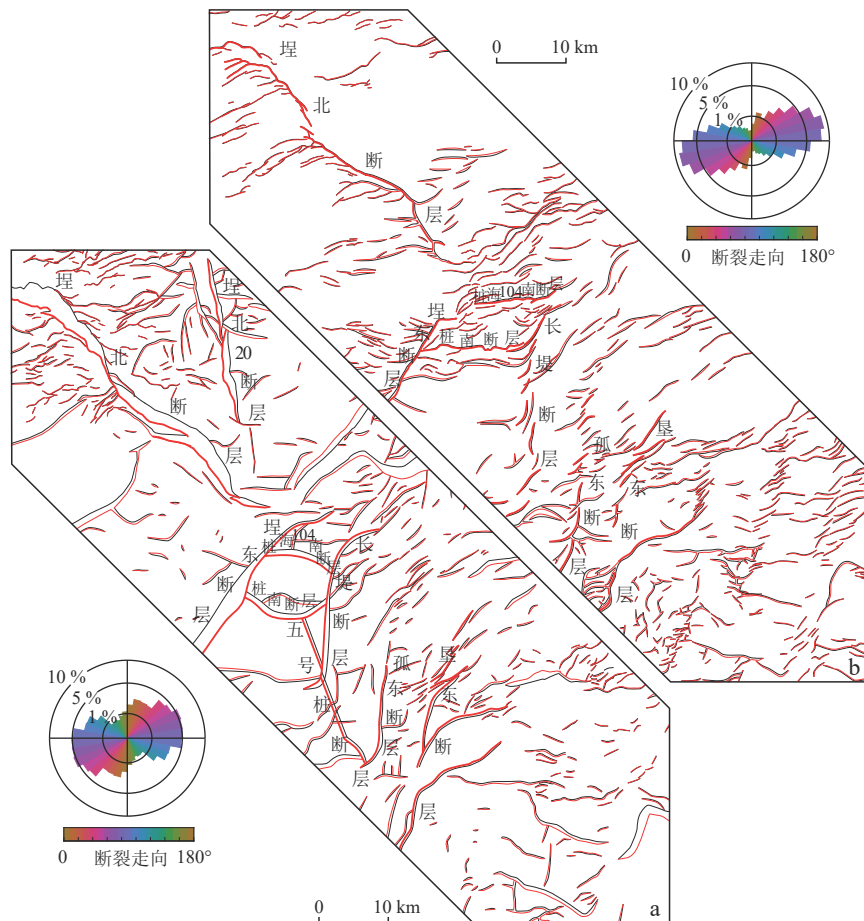


图3 “埕北-垦东”构造转换带新生界关键界面断裂体系展布

Fig. 3 Distribution of fault systems on key interfaces of the Cenozoic in the “Chengbei-Kendong” structural transfer zone

a. 古近系底界面; b. 新近系底界面

代的反转过程后,在古近纪 $E_k-E_s^4$ 期后趋于消亡,其早期活动所控制的NW向展布的凸起带被古近纪NNE(近SN)向右旋走滑的长堤、孤东、垦东断裂切割,形成了沿NW向右行左阶的3个(低)凸起。

上述分析表明,“埕北-垦东”构造转换带介于以NEE向伸展断裂为主控的济阳坳陷和以NNE向伸展-走滑断裂为主控的渤中坳陷之间,整体表现为NW向展布的凸凹格局被NNE向、NEE向断裂切割改造的特点,体现了对两侧差异构造变形的调节转换作用,与两侧坳陷的构造格局既有联系又差异明显。

3 “埕北-垦东”转换带形成演化

渤海湾盆地是在华北稳定克拉通基础上发育而成的中、新生代叠合盆地,在印支构造运动的挤压隆升、整体剥蚀之后,经历了燕山期、喜马拉雅期多次的裂陷演化过程^[15,36],作为其内部分隔两个坳陷的一级转换

带,“埕北-垦东”构造转换带的发育不仅受控于大的区域应力场,还受到先存断裂的发育、两侧坳陷的不协调伸展和走滑等局部地质条件的影响,其发育的时-空差异性也体现了多期次构造作用的叠加效应(图5,图6)。

早、中三叠世,整个渤海湾盆地作为华北大型内陆沉积盆地的一部分,沉积了近1500~2000 m厚的地层^[31,37];晚三叠世,受控于扬子板块与华北板块挤压碰撞所产生的挤压应力场,华北东部处于抬升剥蚀状态,先期沉积的早、中三叠统剥蚀殆尽,发育了一系列NW走向的逆冲断裂带^[38-40],其中也包括“埕北-垦东”构造转换带内发育的埕北断裂、埕北20断裂、五号桩断裂等。挤压逆推导致NW向断裂上盘古生界的剥蚀减薄(图5a)。

进入燕山构造运动阶段,早、中侏罗世华北东部处于由古亚洲域向滨太平洋域的转型期,构造活动相对较弱^[41-42],由晚三叠世挤压逆冲断层和褶皱形成的高低起伏地势开始被“截凸填凹、填平补齐”,“埕北-垦

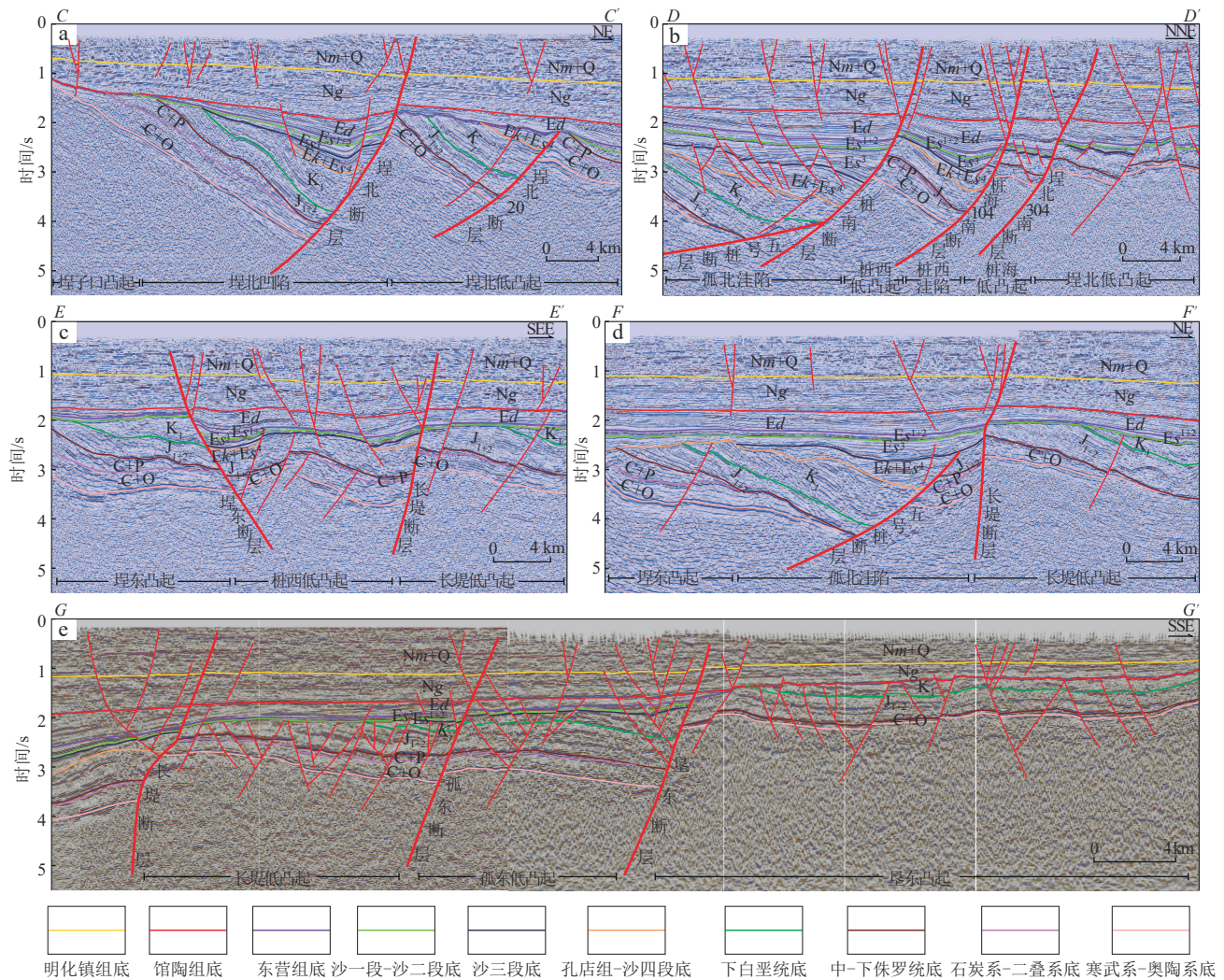


图4 “埕北-垦东”构造转换带典型地震剖面(剖面位置见图2a)

Fig. 4 Typical seismic profiles of the “Chengbei-Kendong” structural transfer zone (see Fig. 2a for location)

a. 埕北地区NE向剖面; b. 桩海-桩西地区NNE向剖面; c. 桩海-桩西地区SEE向剖面; d. 长堤-孤东-垦东地区NE向剖面; e. 长堤-孤东-垦东地区SSE向剖面

东”地区的埕北、五号桩等NW向断裂仍处于逆断活动阶段,但强度明显减弱(图5b);在经历了晚侏罗世的区域整体抬升剥蚀之后,早白垩世古太平洋板块活动取代了扬子板块、西伯利亚板块活动,控制了华北东部地区构造演化。古太平洋板块沿NNW向朝欧亚板块高角度斜向俯冲,不仅在华北东部地区引发了强烈的弧后扩张,也导致郯庐断裂发生强烈的左旋走滑^[43-44],在渤海湾盆地形成了NE-SW向区域拉张应力场,导致包括埕北-五号桩断裂在内的先期发育的NW向断裂发生由“逆”变“正”的构造反转^[45-46],在研究区形成了NW-SE向走向的凸凹格局;与此同时,受郯庐断裂左旋活动的影响,“埕北-垦东”构造带的东南段派生出了埕东、长堤、孤东和垦东等NNE(近SN)向的左旋走滑断裂,对NW-SE向凸凹结构形成切割(图5c);晚白垩世,古太平

洋板块俯冲方向的改变导致华北东部近EW向的区域挤压性隆升,渤海湾盆地整体抬升剥蚀。

古近纪,渤海湾盆地进入近SN向强烈拉张伸展阶段,且郯庐断裂经历了左旋到右旋的转变^[47-48],新生代渤海湾盆地的隆拗格局开始形成,研究区先期发育的NW向断裂带开始成为分隔济阳拗陷和渤中拗陷的构造转换带,且由于受NNE(近SN)向走滑断裂和近EW向伸展断裂的切割,分区效应开始明显显现(图5d,e)。北部的埕北地区,远离郯庐断裂,受NNE向走滑作用的影响小,NW走向埕北断裂在SN向拉张应力作用下发生斜向拉伸,垂向上表现为正断活动,平面上与近EW向次级断裂组合成帚状,显示其在斜向拉伸作用下所具有的一定走滑分量;相比埕北断裂,埕北20断裂消亡更早,在Ek-Es⁴期之后即停止活动(图6a);中部的桩海-

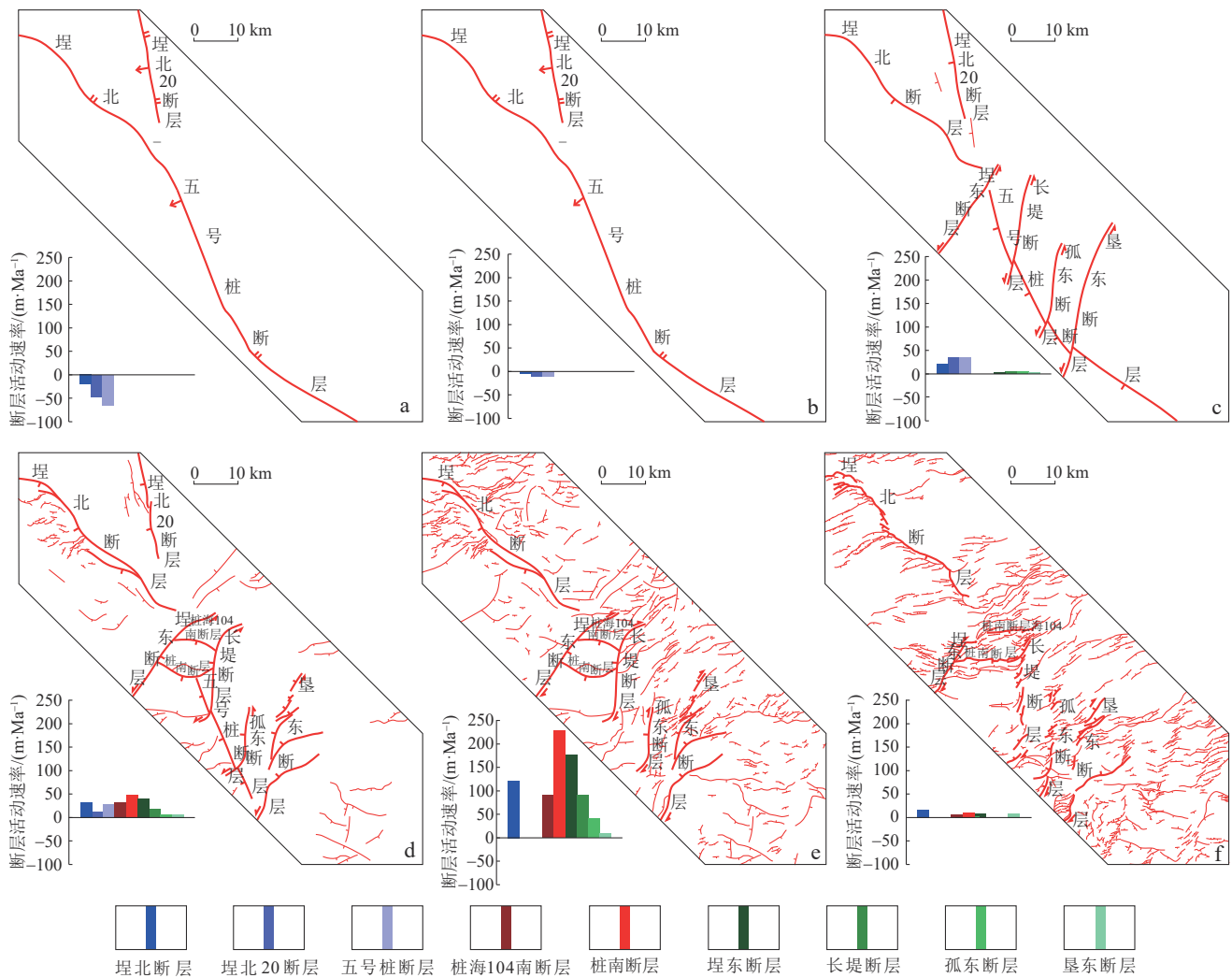


图5 “埕北-垦东”构造转换带印支期以来关键构造阶段断裂体系发育特征及主干断层活动速率

Fig. 5 Fault system characteristics and rates of movement of main faults in key tectonic evolution stages since the Indosinian period in the “Chengbei-Kendong” structural transfer zone

a. 晚三叠世; b. 早-中侏罗世; c. 早白垩世; d. 古近纪孔店组-沙四段沉积期; e. 古近纪沙三段沉积期; f. 新近纪-第四纪

桩西地区,夹持于NNE(近NS)向的埕东断裂和长堤断裂之间,在区域SN向拉张应力和NNE向走滑所派生出的拉张应力共同作用下,发育了桩南断层、桩海104南断层等近WE走向的断裂,控制了桩西洼陷与孤北洼陷的发育,形成了近WE向的凸凹格局(图6b);南部的长堤-孤东-垦东地区,由于紧邻郯庐断裂带,古近纪走滑效应明显,先期活动的NW走向的五号桩断裂 $E_k-E_s^4$ 期之后已趋于消亡,其控制的NW走向的凸凹格局被左阶排列的长堤、孤东、垦东断裂所切割改造(图6c)。至新近纪,渤海湾盆地进入整体拗陷沉降阶段,“埕北-垦东”构造转换带断裂垂向活动趋于消亡,平面上表现为一系列的次级断裂沿NNE和NW向雁行排列,体现出整体拗陷基础上的走滑效应叠加(图5f)。

综上所述,可建立“埕北-垦东”构造转换带形成演

化模式(图7)。中生代区域应力场由晚三叠世NE-SW向挤压至早白垩世NE-SW向拉张的转变,导致NW向的埕北-五号桩断裂由“逆”变“正”,使其成为新生代盆地发育的先存基底断裂,对“埕北-垦东”构造带成为分隔新生代济阳拗陷和渤中拗陷的盆内一级构造转换带起到了决定性的作用。古近纪在近SN向区域拉张的背景下,由于受郯庐断裂走滑的影响程度不同,导致该转换带在古近纪的差异转换效应的出现:北段的埕北地区远离郯庐断裂带,走滑效应弱,先期发育的NW向埕北断裂发生斜向拉伸,继承了中生代NW向的凸凹格局;南部的长堤-孤东-垦东地区紧邻郯庐断裂带,走滑作用强烈,NNE(近SN)向的左阶侧列的走滑断裂对先期NW向展布的凸凹格局进行了切割改造;中部的桩海-桩西地区介于前两者之间,在近SN向区域拉张应力

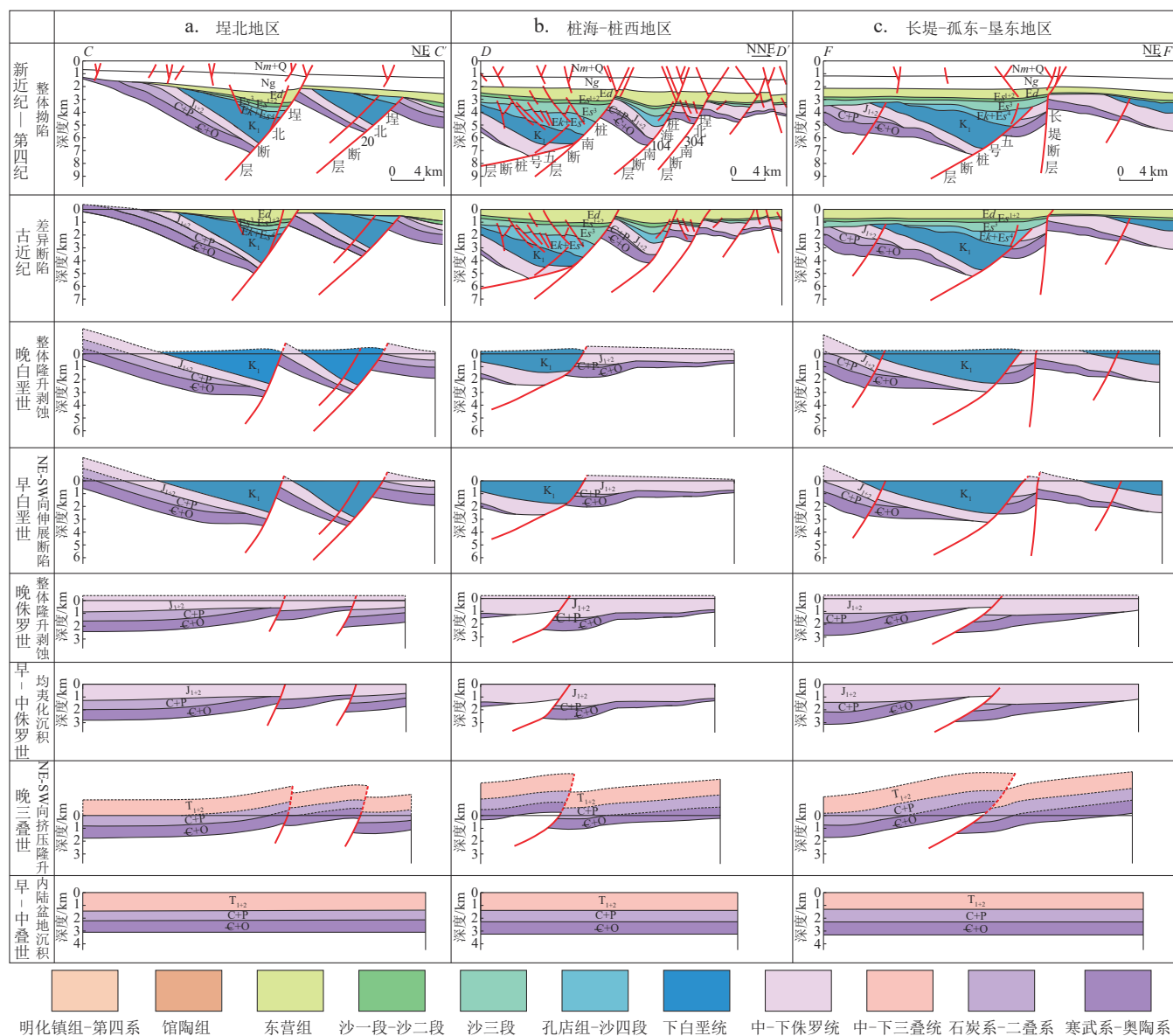


图6 “埕北-垦东”构造转换带内部不同构造分区构造演化过程

Fig. 6 Structural evolution of different zones in the “Chengbei-Kendong” structural transfer zone

a. 埕北地区NE向平衡剖面; b. 桩海-桩西地区NNE向平衡剖面; c. 长堤-孤东-垦东地区NE向平衡剖面

作用与NNE走滑所派生出的近SN向拉张作用的叠加效应下,形成了近EW向断裂控制的凸凹结构。

4 “埕北-垦东”构造转换带成藏特征

大量的勘探实践证明,“埕北-垦东”构造转换带是渤海湾盆地内部重要的油气富集区带。受控于埕北-五号桩断裂中生代由逆到正的发育演化,该地区整体呈NW向展布的凸凹格局,成为潜山油气藏的有利发育区带。因在古近纪受NNE向走滑断裂和近EW拉张断裂的切割改造,“埕北-垦东”构造转换构造带的油气成藏在不同区段差异明显。

古近纪,埕北地区埕北断层继承活动,埕北凹陷持

续沉降形成深洼,为烃源岩发育提供了条件^[49];埕北凸起在早白垩世-古近纪沙河街组沉积期持续处于隆升剥蚀状态,促进了前古近系潜山顶面风化壳储层的发育;埕北断裂古近纪的持续张扭性活动,增强了输导能力,为凹陷内古近系油源提供了进入潜山的运移通道,推动了潜山油气藏的发育(图8)。此外,新近纪走滑作用所派生的近东西向次级断层,可作为油气垂向运移的通道,将油气运移至浅层新近系断层、地层和岩性圈闭中成藏^[50]。

古近纪,桩海-桩西地区凸凹结构主要受控于桩南、桩海104南等近EW向张性断层,强烈的断陷使得孤北洼陷与桩西洼陷内沉积了较厚的深湖相、半深湖相沉积,沙河街组、东营组源岩发育^[51-52]。此外,埕北

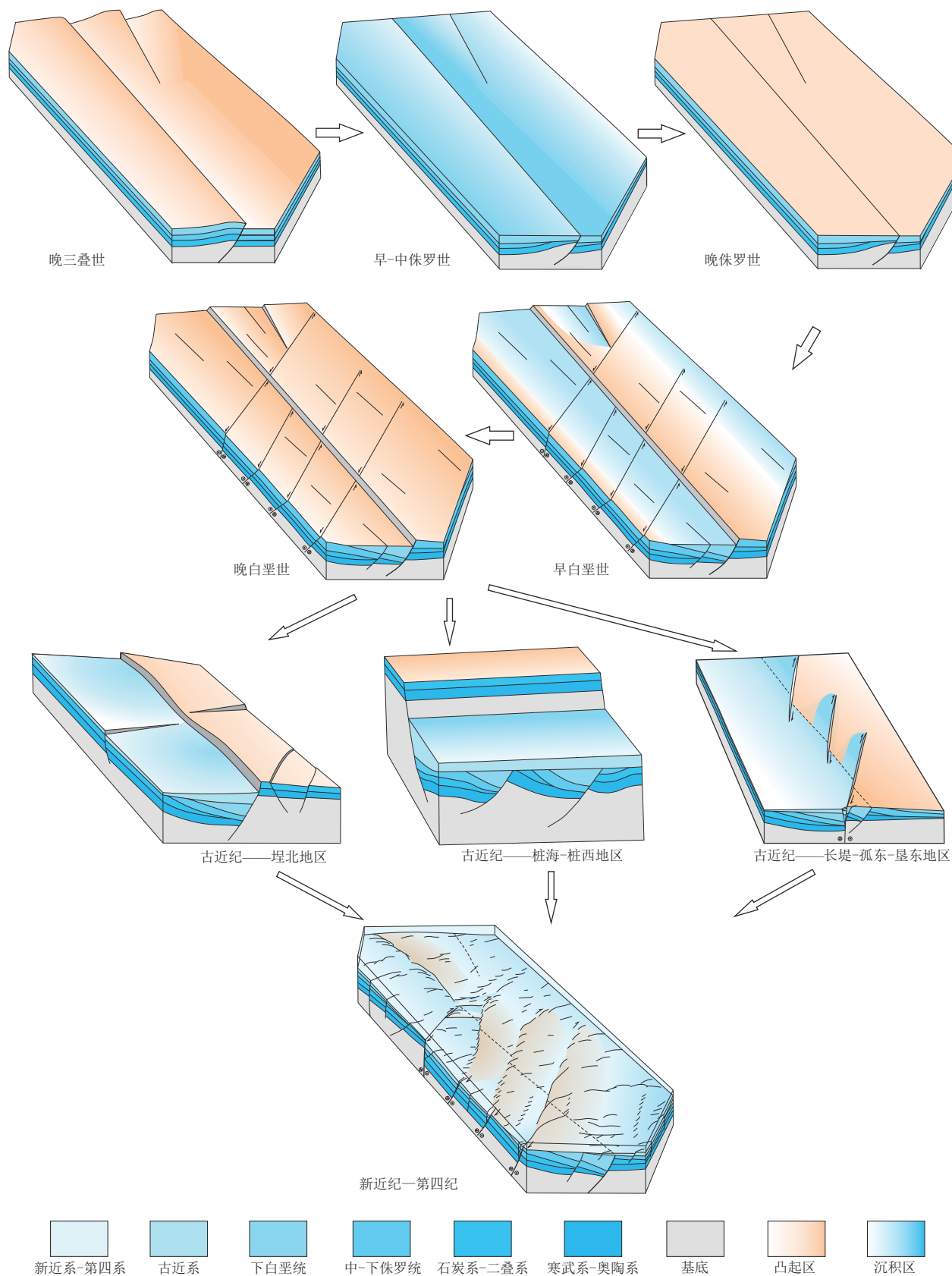


图7 “埕北-垦东”构造转换带形成演化模式

Fig. 7 Tectonic evolution model of the “Chengbei-Kendong” structural transfer zone

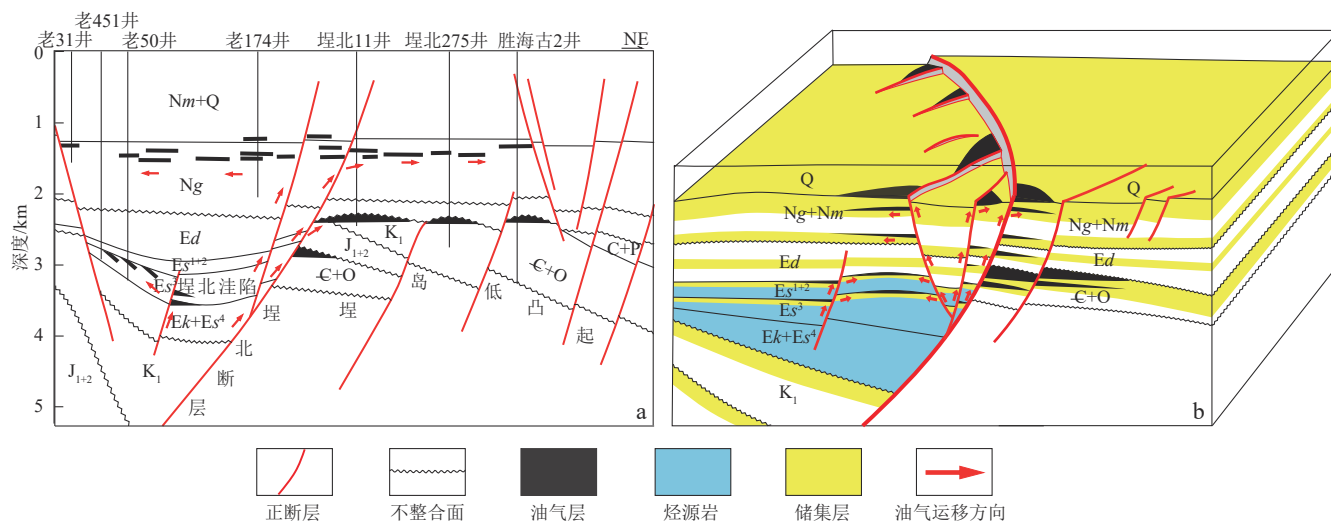


图8 埕北地区成藏特征

Fig. 8 Hydrocarbon accumulation characteristics of the Chengbei area

a. 油藏剖面; b. 成藏模式

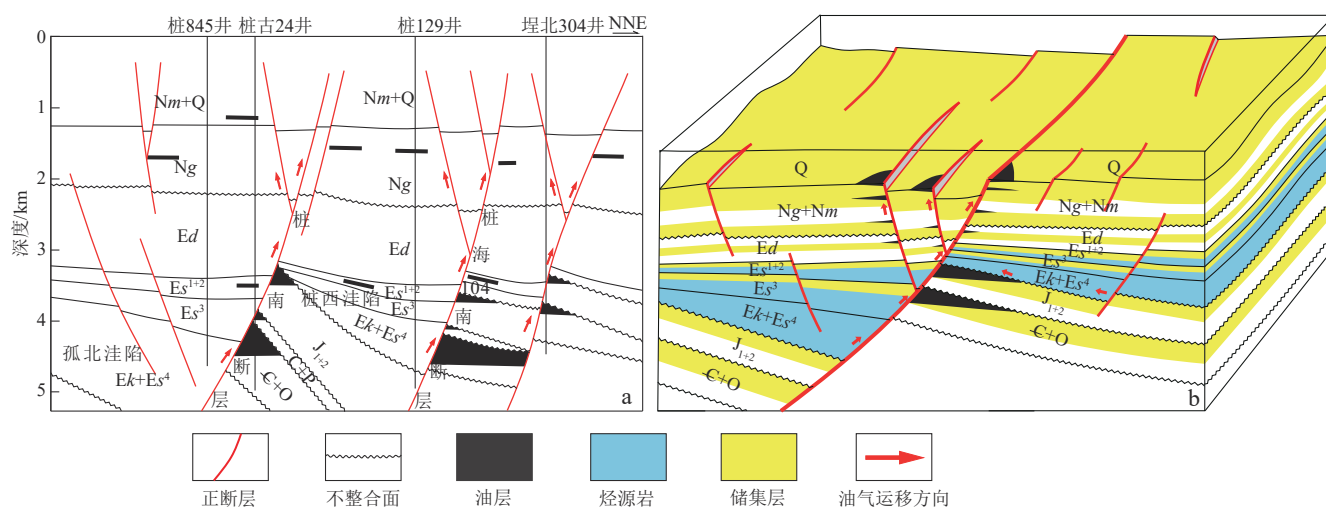


图9 桩海-桩西地区成藏特征

Fig. 9 Hydrocarbon accumulation characteristics of the Zhuanghai-Zhuangxi area

a. 油藏剖面; b. 成藏模式

凹陷、黄河口凹陷生成的油气也可通过不整合面和砂体间接向桩海-桩西地区运移,具备多凹供烃条件^[53]。值得注意的是,该地区处于NW向、NNE向、近EW向多组断裂的交叉位置,在潜山顶部及内幕产生了大量构造裂缝,不仅在古生界碳酸盐岩层系形成了良好的储集空间,也为油气进入潜山提供了良好的运移通道,因而尽管在桩海-桩西地区的浅部层系发育有一定数量的构造油气藏和岩性油气藏,但多凹(洼)供烃、潜山成藏仍是其主要特征(图9)。

长堤-孤东-垦东地区整体表现为中生代形成的NW走向的凸凹结构被新生代NNE向走滑断裂切割、改造的特点,走滑断裂的侧向封堵性是该地区油气成

藏的主控因素。与伸展断裂不同,走滑断裂通常发育局部增压弯曲段和释压弯曲段,导致走滑断裂不同位置对油气的封堵能力有所差异^[54]。以长堤断层为例,其走向呈“S”形弯曲,在右旋走滑应力场的控制下,其中段处于增压弯曲位置,断面紧闭,侧向封堵性强,使得孤北洼陷生成的油气难以通过长堤断层进入前古近系潜山,断层下降盘成为油气有利聚集区带;此外,长堤低凸起具有西高东低的形态特征,其东侧黄河口凹陷生成的油气可沿不整合面自东向西浅运移^[55],从而在潜山之上的Ed和Ng等披覆层系被走滑断裂侧向封堵成藏。因此,长堤地区具有以长堤断裂为界,双源供烃、西深东浅、侧封成藏的特点(图10)。

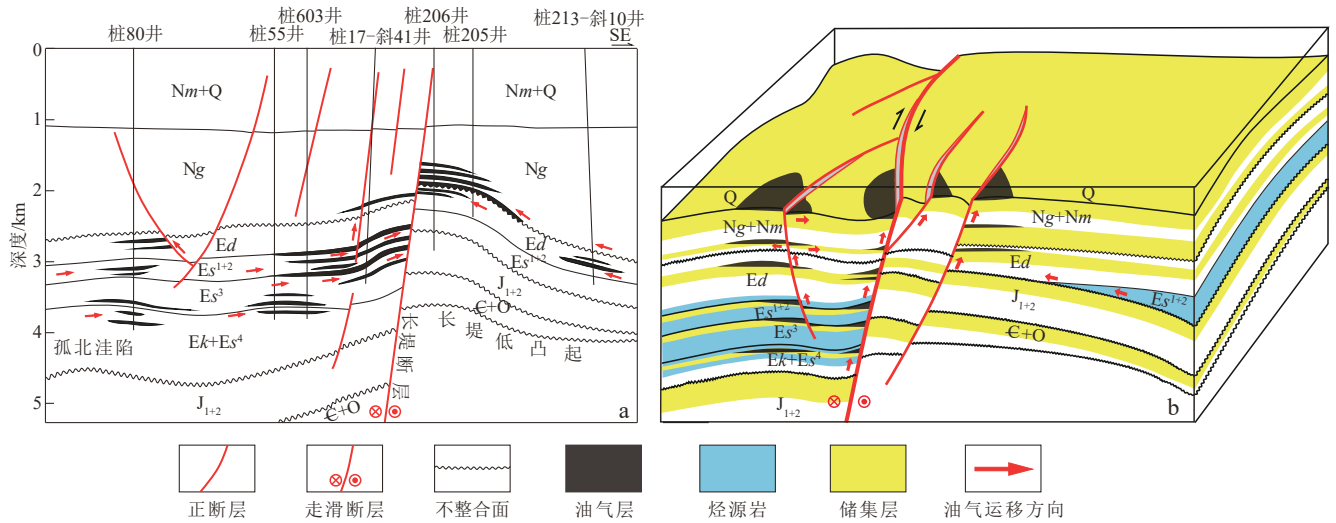


图10 长堤地区成藏特征

Fig. 10 Hydrocarbon accumulation characteristics of the Changdi area

a. 油藏剖面; b. 成藏模式

5 结论

1) “埕北-垦东”构造带为渤海湾盆地中部分隔济阳坳陷和渤中坳陷的一级构造转换带,整体表现为NW向展布的凸凹格局被NNE向、NEE向断裂所切割改造的特点,与以NEE向伸展断裂为主控的济阳坳陷和以NNE向伸展-走滑断裂为主控的渤中坳陷既有联系又有差异,对两侧坳陷差异构造变形具有调节转换作用。

2) NW向的埕北-五号桩断裂在中生代经历了由“逆”变“正”的反转发育过程,其作为新生代盆地发育的先存基底断裂,对“埕北-垦东”构造带成为新生代济阳坳陷和渤中坳陷间的构造转换带具有决定性的作用;古近纪在近SN向区域拉张背景下,由于受郯-庐断裂走滑的影响程度不同,导致该转换带在古近纪差异演化,出现分区效应。

3) “埕北-垦东”构造转换带在中生代形成的NW展布的凸凹格局,使其成为潜山油气藏发育的有利区带,古近纪的差异演化控制了该构造转换带内部埕北、桩海-桩西、长堤-孤东-垦东等不同区段的油气成藏。

参考文献

- [1] Dahlstrom C D A. Balanced cross sections[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1969, 6(4): 743-757.
- [2] Dahlstrom C D A. Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountains[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1970, 18(3): 332-406.
- [3] Morley C K, Nelson R A, Patton T L, et al. Transfer zone in the East African rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts[J]. AAPG Bulletin, 1990, 4(8): 1234-1253.
- [4] Gawthorpe R L, Hurst J M. Transfer zones in extensional basins: their structural style and influence on drainage development and stratigraphy[J]. Journal of the Geological Society, 1993, 150(6): 1137-1152.
- [5] Peacock D C P, Sanderson D J. Geometry and development of relay ramps in normal fault systems[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(2): 147-165.
- [6] 徐长贵. 渤海走滑转换带及其对大中型油气田形成的控制作用[J]. 地球科学, 2016, 41(9): 1548-1560.
- [7] 张林. 济阳坳陷变换构造及其油气地质意义[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2012.
- [8] 张林, 吴智平, 李伟, 等. 济阳坳陷伸展背景下的变换构造研究[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(1): 24-31.
- [9] 邹光辉, 漆家福. 黄骅盆地一级构造变换带的特征与成因[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 29-32.
- [10] 陈发景, 汪新文, 陈昭年. 伸展断陷中的变换构造分析[J]. 现代地质, 2011, 25(4): 617-625.

Chen Fajing, Wang Xinwen, Chen Zhaonian. Analysis of transform structures in extensional fault depressions[J]. Geoscience,

- 2011, 25(4): 617-625.
- [11] McClay K R, Dooley T, Whitehouse P, et al. 4-D evolution of rift systems: Insights from scaled physical models[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(6): 935-959.
- [12] Corti G, Bonini M, Mazzarini F, et al. Magma-induced strain localization in centrifuge models of transfer zones[J]. Tectonophysics, 2002, 348(4): 205-218.
- [13] Uzel B, Sözbilir H, özkaymak Ç, et al. Structural evidence for strike-slip deformation in the İzmir-Balıkesir transfer zone and consequences for late Cenozoic evolution of western Anatolia (Turkey)[J]. Journal of Geodynamics, 2013, 65: 94-116.
- [14] Allen M B, Macdonald D I M, Xun Z, et al. Early Cenozoic two-phase extension and Late Cenozoic thermal subsidence and inversion of the Bohai Basin, Northern China[J]. Marine and Petroleum Geology, 1997, 14(7): 951-972.
- [15] 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 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), 2001, 37(6): 845-851.
Hou Guiting, Qian Xianglin, Cai Dongsheng. The tectonic evolution of Bohai Basin in Mesozoic and Cenozoic time[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2001, 37(6): 845-851.
- [16] 蒋有录, 苏胜民, 刘华, 等. 渤海湾盆地油气成藏期差异性及其主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(6): 1255-1264.
Jiang Youlu, Su Shengmin, Liu Hua, et al. Differences in hydrocarbon accumulation stages and main controlling factors in the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(6): 1255-1264.
- [17] 朱世发, 贾业, 马立驰, 等. 渤海湾盆地济阳坳陷中生界复杂岩性风化壳储层特征、质量控因与甜点模型[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(3): 514-527.
Zhu Shifa, Jia Ye, Ma Lichi, et al. Research of "synthem units of exploration" in mature exploration area and its application in the Dongying Sag, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(3): 514-527.
- [18] 漆家福. 裂陷盆地中的构造变换带及其石油地质意义[J]. 海相油气地质, 2007, 12(4): 43-50.
Qi Jiafu. Structural transfer zones and significance for hydrocarbon accumulation in rifting basins[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2007, 12(4): 43-50.
- [19] 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海中、新生代盆地构造活动与沉积作用的时空关系[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 201-206.
Hou Guiting, Qian Xianglin, Cai Dongsheng. Space-time relationship between tectonics and sedimentation of Meso-Cenozoic Bohai Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3): 201-206.
- [20] 张鹏, 王良书, 丁增勇, 等. 济阳坳陷中-新生代断裂发育特征及形成机制[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4): 467-474.
Zhang Peng, Wang Liangshu, Ding Zengyong, et al. Characteristics and formation mechanism of the faults in Mesozoic-Cenozoic in Jiyang Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(4): 467-474.
- [21] 孙永河, 漆家福, 吕延防, 等. 渤中坳陷断裂构造特征及其对油气的控制[J]. 石油学报, 2008, 29(5): 669-675.
Sun Yonghe, Qi Jiafu, Lv Yanfang, et al. Characteristics of fault structure and its control to hydrocarbon in Bozhong Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(5): 669-675.
- [22] 周心怀, 余一欣, 汤良杰, 等. 渤海海域新生代盆地结构与构造单元划分[J]. 中国海上油气, 2010, 22(5): 285-289.
Zhou Xinhui, Yu Yixin, Tang Liangjie, et al. Cenozoic offshore basin architecture and division of structural elements in Bohai sea[J]. China Offshore Oil and Gas, 2010, 22(5): 285-289.
- [23] 王冠民, 熊周海, 张健, 等. 渤海湾盆地渤中凹陷油藏断裂特征及对成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(1): 62-70.
Wang Guanmin, Xiong Zhouhai, Zhang Jian, et al. Characterization of fault system and its control on reservoirs in the Bozhong Sag, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(1): 62-70.
- [24] 程晓敢, 唐其升, 陈汉林, 等. 渤海湾南部埕岛地区中生代变形特征及构造演化[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(5): 596-599.
Cheng Xiaogan, Tang Qisheng, Chen Hanlin, et al. Mesozoic deformation and tectonic evolution in Chengdao, Southern Bohai Bay[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(5): 596-599.
- [25] 陈广军, 隋风贵. 埕岛地区构造体系归属探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2002, 5(4): 405-411.
Chen Guangjun, Sui Fenggui. Discussion on which tectonic system does Chengdao belong to[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2002, 5(4): 405-411.
- [26] 罗霞, 方旭庆, 张云银, 等. 济阳坳陷桩海地区古生界潜山构造特征及形成机制[J]. 地学前缘, 2021, 28(1): 33-42.
Luo Xia, Fang Xuqing, Zhang Yunyin, et al. Structural characteristics and formation mechanism of the Paleozoic buried hills of the Zhuanghai area in the Jiyang Depression[J]. Earth Science Frontiers, 2021, 28(1): 33-42.
- [27] 孔凡仙, 林会喜. 埕岛地区潜山油气藏特征[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(2): 116-122.
Kong Fanxian, Lin Huixi. Features of buried hill hydrocarbon reservoirs in Chengdao area[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 27(2): 116-122.
- [28] 孙玮, 刘树根, 时华星. 济阳坳陷桩海碳酸盐岩潜山构造演化及其对油气成藏的控制作用[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(3): 23-25.
Sun Wei, Liu Shugen, Shi Huaxing. Structural evolution and its control to hydrocarbon accumulation of Zhuanghai carbonate buried hill, Jiyang Depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(3): 23-25.
- [29] 董道涛, 邱隆伟, 马永达, 等. 多断湖盆构造控砂与沉积充填过程——以渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷东部始新统为例[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(4): 653-663.
Dong Daotao, Qiu Longwei, Ma Yongda, et al. Control of tectonics on sedimentation of sandstone and process of sediment filling in multi-fault lacustrine basins: A case study on the Eocene in eastern Zhanhua Sag, Jiyang Depression in Bohai Bay Basin[J].

- Oil & Gas Geology, 2018, 39(4): 653-663.
- [30] 程燕君, 吴智平, 张杰. 济阳拗陷长堤地区走滑构造特征及对油气聚集的控制作用[J]. 油气地质与采收率, 2020, 27(2): 35-42.
- Cheng Yanjun, Wu Zhiping, Zhang Jie. Characteristics of strike-slip faults and its control on hydrocarbon accumulation in Changdi area of Jiyang Depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2020, 27(2): 35-42.
- [31] 漆家福, 于福生, 陆克政, 等. 渤海湾地区的中生代盆地构造概论[J]. 地学前缘, 2003, 10(S): 199-206.
- Qi Jiafu, Yu Fusheng, Lu Kezheng, et al. Conspectus Mesozoic basins in Bohai Bay province[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(S): 199-206.
- [32] 李伟. 渤海湾盆地中生代盆地演化与前第三系油气勘探[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2007.
- Li Wei. Mesozoic basin evolution and the exploration of the pre-Tertiary petroleum in the area of Bohai Bay Basin[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2007.
- [33] 李理, 赵利, 刘海剑, 等. 渤海湾盆地晚中生代-新生代伸展和走滑构造及深部背景[J]. 地质科学, 2015, 50(2): 446-472.
- Li Li, Zhao Li, Liu Haijian, et al. Late Mesozoic to Cenozoic extension and strike slip structures and deep background of Bohai Bay Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2015, 50(2): 446-472.
- [34] Su J, Zhu W, Lu H, et al. Geometry styles and quantification of inversion structures in the Jiyang Depression, Bohai Bay Basin, eastern China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2009, 26(1), 25-38.
- [35] Cheng Y, Wu Z, Lu S, et al. Mesozoic to Cenozoic tectonic transition process in Zhanhua Sag, Bohai Bay Basin, east China[J]. Tectonophysics, 2018, 730, 11-28.
- [36] 吴智平, 侯旭波, 李伟. 华北东部地区中生代盆地格局及演化过程探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(4): 385-399.
- Wu Zhiping, Hou Xubo, Li Wei. Discussion on Mesozoic basin patterns and evolution in the eastern North China Block[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2007, 31(4): 385-399.
- [37] 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.
- Li Wei, Wu Zhiping, Zhou Yaoqi. Reconstruction of the thickness of the Mesozoic strata and Mesozoic proto-type basin in the Jiyang Depression[J]. Geological Review, 2005, 51(5): 507-516.
- [38] 于福生, 漆家福, 王春英. 华北东部印支期构造变形研究[J]. 中国矿业大学学报, 2002, 31(4): 402-406.
- Yu Fusheng, Qi Jiafu, Wang Chunying. Tectonic deformation of Indosinian period in eastern part of North China[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2002, 31(4): 402-406.
- [39] Yin A, Nie S. An indentation model for the north and south China collision and the development of the Tan-Lu and Honan Fault Systems, Eastern Asia[J]. Tectonics, 1993, 12(4): 801-813.
- [40] Li S, Jahn B, Zhao S, et al. Triassic southeastward subduction of North China Block to South China Block: Insights from new geological, geophysical and geochemical data[J]. Earth-Science Reviews, 2017, 166: 270-285.
- [41] 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): 406-417.
- Wu Zhiping, Li Wei, Zheng Deshun, et al. Analysis on features and origins of the Mesozoic and Cenozoic faults in Zhanhua Sag[J]. Geological Journal of China Universities, 2004, 10(3): 406-417.
- [42] 任建业, 于建国, 张俊霞. 济阳拗陷深层构造及其对中生代盆地发育的控制作用[J]. 地学前缘, 2009, 16(4): 117-137.
- Ren Jianye, Yu Jianguo, Zhang Junxia. Structures of deep bed in Jiyang Sag and their control over the development of Mesozoic and Cenozoic basins[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(4): 117-137.
- [43] 朱光, 刘程, 顾承串, 等. 郯庐断裂带晚中生代演化对西太平洋俯冲历史的指示[J]. 中国科学: 地球科学, 2018, 48(4): 415-435.
- Zhu Guang, Liu Cheng, Gu Chengchuan, et al. Oceanic plate subduction history in the western Pacific Ocean: Constraint from late Mesozoic evolution of the Tan-Lu Fault Zone[J]. Science China Earth Sciences, 2018, 48(4): 415-435.
- [44] 朱日祥, 陈凌, 吴福元, 等. 华北克拉通破坏的时间、范围与机制[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(5): 583-592.
- Zhu Rixiang, Chen Ling, Wu Fuyuan, et al. Timing, scale and mechanism of the destruction of the North China Craton[J]. Science China Earth Sciences, 2011, 41(5): 583-592.
- [45] 索艳慧, 李三忠, 曹现志, 等. 中国东部中生代反转构造及其记录的大洋板块俯冲过程[J]. 地学前缘, 2017, 24(4): 249-267.
- Suo Yanhui, Li Sanzhong, Cao Xianzhi, et al. Mesozoic-Cenozoic inversion tectonics of East China and its implications for the subduction process of the oceanic plate[J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24(4): 249-267.
- [46] 朱光, 牛漫兰, 刘国生, 等. 郯庐断裂带早白垩世走滑运动中的构造、岩浆、沉积事件[J]. 地质学报, 2002, 76(3): 325-334.
- Zhu Guang, Niu Manlan, Liu Guosheng, et al. Structural, magmatic and sedimentary events of the Tan-Lu fault belt during its Early Cretaceous strike-slip movement[J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(3): 325-334.
- [47] 吴智平, 李伟, 任拥军, 等. 济阳拗陷中生代盆地演化及其与新生代盆地叠合关系探讨[J]. 地质学报, 2003, 77(2): 280-286.
- Wu Zhiping, Li Wei, Ren Yongjun, et al. Basin evolution in the Mesozoic and superposition of Cenozoic Basin in the area of the Jiyang depression[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(2): 280-286.
- [48] 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: 地球科学, 2006, 36(6): 507-519.