

济阳坳陷断裂演化与油气富集规律

方旭庆^{1,2}, 蒋有录¹, 罗霞³, 赵兰全², 杨永红²

(1. 中国石油大学 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 2. 中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015;
3. 中国石化胜利油田分公司 物探研究院, 山东 东营 257015)

摘要:通过区域应力场特征、区域地震剖面 and 钻井等资料分析,并依据区域应力场控制下不同走向断裂的演化特征、叠合效应及其约束下不同凹陷成藏要素的差异,对济阳坳陷不同凹陷的油气富集规律进行研究。结果表明:济阳坳陷在印支期板块拼合作用影响下形成“多米诺骨牌式”有序逆冲褶皱,燕山期在东侧的郯庐断裂带和西侧的兰聊断裂带左旋走滑运动及燕山-喜山期右旋走滑运动控制下,相继发生了“多米诺骨牌式”有序构造反转和北东向“帚状”走滑运动,依次形成北西向、北东向和北北东向断裂并相互叠加;不同断裂叠加效应下,各凹陷具有“脉动式”伸展过程,伸展率的差异控制了不同凹陷的成藏要素;济阳坳陷自南西北东主要含油层系具有古近系至新近系逐渐上移的规律。

关键词:济阳坳陷; 郯庐断裂带; 兰聊断裂带; “脉动式”伸展; 走滑运动

中图分类号:TE 122.1 **文献标志码:**A

Relationship between faults evolution and hydrocarbon enrichment in Jiyang depression

FANG Xu-qing^{1,2}, JIANG You-lu¹, LUO Xia³, ZHAO Lan-quan², YANG Yong-hong²

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;
2. Geo-Science Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257015, China;
3. Geophysical Exploration Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257015, China)

Abstract:By analyzing the regional stress, seismic profile and drilling data, the hydrocarbon distribution in different sags of Jiyang depression was studied based on evolution characteristics and superimposition of different trend faults controlled by regional stress, as well as the analysis of variance of accumulation elements. The results show that the Domino style orderly thrust folds are formed with the tectonic plates mergers in the period of Indosinian tectonic movement. The Domino type orderly structural inversion occurs under the control of sinistral strike-slip stress in Tan-Lu faults zone in the east and in Lan-Liao faults zone in the west in the period of Yanshan tectonic movement. The NE "broom style" strike-slip movement occurs under the control of dextral strike-slip stress in the period of Yanshan-Himalayan tectonic movement. Therefore, NW, NE and NNE faults are orderly formed and superimposed. Controlled by the superposition of different faults, the sags are pulsative extension. The stretching rate controls the accumulation elements in different sag. The main oil-bearing stratum gradually becomes newer from Paleogene to Neogene in the southwest-northeast area.

Key words:Jiyang depression; Tan-Lu faults belt; Lan-Liao faults belt; pulsative extension; strike-slip movement

济阳坳陷位于渤海湾盆地东南隅,夹持于郯庐断裂带和兰聊断裂带之间,素有“地质大观园”之称。济阳坳陷发育北西向、北东向、北东东向等多组断裂和东营、沾化、车镇、惠民 4 个北断南超的“箕

状”形态凹陷,不同凹陷的构造形态、地质结构、主要油气藏类型和油气富集层段等相差甚远,如东营凹陷形态开阔、发育中央背斜带,以古近系沙四段和沙二段为主要含油层系,而邻近的沾化凹陷多发育

潜山披覆构造,以新近系含油为主。笔者依据区域应力场控制下不同走向断裂的演化特征、叠合效应及其约束下不同凹陷成藏要素的差异,对济阳凹陷不同凹陷的油气富集规律进行研究。

1 地质概况

济阳坳陷是在太古界结晶变质岩系之上发育了古生界、中生界和新生界 3 大套沉积岩系,经历了泰山、加里东、海西和印支等 4 次大规模构造运动^[1],造成 4 个区域性间断和不整合,缺乏元古界、古生界志留系、泥盆系和中生界三叠系 4 套地层。

古生界主要发育下古生界的寒武系—奥陶系和上古生界石炭系—二叠系,寒武系—奥陶系是一套以碳酸盐岩为主的浅海相沉积,石炭系—二叠系为海陆过渡带沉积。中生界主要发育侏罗系和白垩系,早中侏罗统是一套陆相碎屑岩含煤系地层,晚侏罗统及早白垩统为陆相砂泥岩沉积。

新生界古近系和新近系均发育,古近系各凹陷中都有较厚的沉积,自下而上发育孔店组、沙河街组的沙四段、沙三段、沙二段、沙一段和东营组。孔店组整体为干旱湖泊环境沉积,范围和厚度分布不一,惠民凹陷和东营凹陷分布范围大,最大厚度超过 5.0 km,沾化凹陷和车镇凹陷局部分布,一般小

于 500 m。沙四段在惠民凹陷和东营凹陷地层厚约 400 m,车镇凹陷和沾化凹陷一般小于 100 m,其中沙四下亚段为红色砂砾岩沉积,沙四上亚段主要为半深湖相泥岩和油页岩。沙三—二段各凹陷均大面积分布,经历了深湖→半深湖→滨浅湖沉积演化过程,各凹陷北部陡坡带持续发育近岸水下扇体,南部缓坡带发育滩坝和(扇)三角洲—浊积岩体系;地层厚度一般在 2.0~3.0 km,沾化凹陷厚度明显增大。沙一段主要为 200~300 m 深—半深湖相泥岩,是区域性盖层。东营组为一套湖相—河流相沉积,底部以半深湖—深湖相沉积为主,逐渐过渡为三角洲—河流相沉积,沾化凹陷地层厚度大于 1.5 km,惠民和东营凹陷厚度小于 700 m。新近系自下而上发育馆陶组和明化镇组,馆陶组下部以辫状河沉积为主,上部为曲流河—泛滥平原的砂泥岩互层,是一套良好的盖层;明化镇组主要为泛滥平原沉积;沾化凹陷新近系厚度约 2.0 km,惠民凹陷约 400 m。

2 断裂特征

2.1 断裂展布特征

济阳坳陷断裂按照走向可以划分为 3 组,即北西走向断裂、北东走向断裂和北北东走向断裂(图 1,图中数字为主要断层及构造带)。

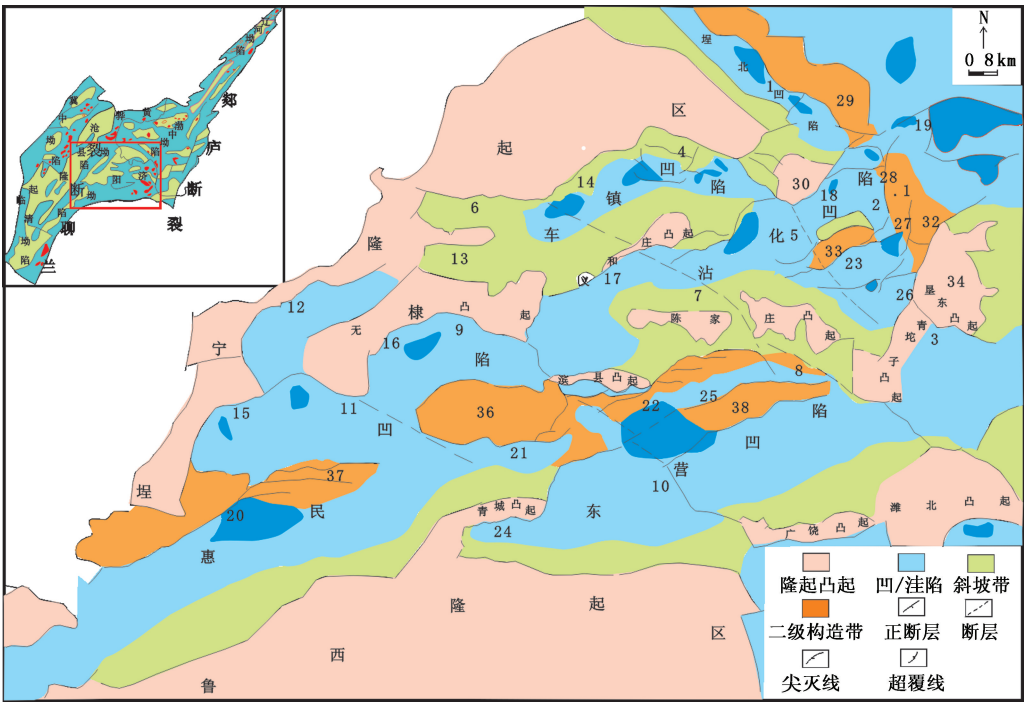


图 1 济阳坳陷构造单元

Fig.1 Tectonic units in Jiyang depression

(1) 北西向断裂。主要发育 5 条断层,自南西 向东北依次为滋镇断层、劳店—石村断层、车西—罗

西-陈南断层(以下简称车陈断层)、郭局子-孤西断层和埕北西-五号桩-垦东南断层(以下简称埕北西-五号桩断层),近平行排列。

(2)北东向断裂。主要发育4条断层,自北向南依次为,柴胡店-庆云-车20北断层(以下简称柴车断层)、滋镇北-阳信-义南-埕东-埕北东断层(以下简称滋埕断层)、临商-林南-胜北-孤南断层(以下简称临孤断层)和花沟-营2断层(以下简称花营断层),呈南西收敛、北东撒开的帚状展布。

(3)北北东向断裂。主要分布在济阳东部地区,自南向北依次为垦东断层、孤东断层和长堤断层等,呈雁行排列。

2.2 不同走向断裂活动性

通过地震资料精细解释,结合钻井资料,运用断层活动速率对不同走向断裂活动性进行分析。

(1)北西向断裂。三叠纪为挤压逆冲断层发育阶段,早-中侏罗世挤压逆冲活动减弱,处于活动的“宁静期”,晚侏罗世以后进入拉张正向断层活动阶段,在不同的断层活动阶段,5条断层活动性表现出差异性(图2(a))。逆冲断层活动阶段,埕北西-五号桩断层、郭局子-孤西断层、车陈断层、劳店-石村断层和滋镇断层形成逆冲活动由早到晚、强度由大到小。正向断层活动阶段,埕北西-五号桩断层、郭局子-孤西断层、车陈断层、劳店-石村断层和滋镇断层形成正断活动由早到晚,东北部的埕北西-五号桩断层在晚侏罗世-白垩世进入正断活动高峰,随后逐渐减弱,在沙二期消亡。西南部的滋镇断层孔店期进入正断活动高峰,随后逐渐减弱,在沙三期开始消亡。郭局子-孤西断层、车陈断层和劳店-石村断层介于两者之间,从断层的逆冲、正断层高峰期和消亡时期来看,北东-南西具有“琴键式”迁移规律。

(2)北东向断裂。断层开始活动时期为沙河街组沙四期,从断层活动形式来看,全部为正断活动,断层活动双峰现象明显,峰值出现于沙三期和沙一-东营期,后期沾化凹陷断层活动性明显强于东营凹陷和惠民凹陷;从断层活动结束的时期来看,大多数的断层于馆陶期开始衰弱,并逐渐消亡,沾化凹陷断层消亡明显滞后,多数断层延续到明化镇期(图2(b))。

(3)北北东向断裂。断层开始活动的时期为沙河街组沙四期,从断层活动形式来看(图2(c)),全部为正断活动,断层活动性呈单峰的特点,峰值出现于沙三期,北部断层活动强度略高于南部;从断层结

束的时期来看,大多数的断层于馆陶后期衰弱、消亡。

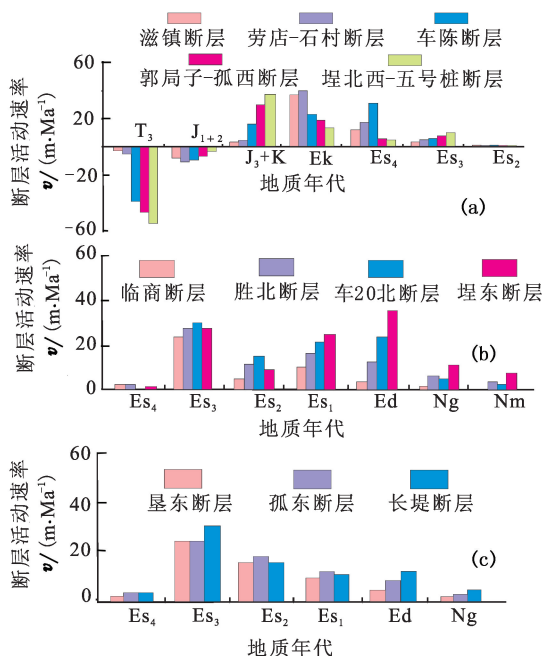


图2 济阳拗陷不同走向断层活动速率统计

Fig.2 Activity statistics of different strike fault in Jiyang depression

2.3 断裂演化规律

2.3.1 区域应力场

研究结果^[2-11]表明,济阳拗陷在不同地质阶段处于不同方向应力场中。三叠世中、晚期,华北板块与扬子板块的碰撞拼接作用使华北板块南缘受到北北东方向的挤压,济阳拗陷处于南南西-北北东向水平挤压应力场中;侏罗世—燕山运动晚期,在东部西太平洋伊泽奈崎板块俯冲作用下,郯庐断裂和兰聊断裂为左旋走滑运动,济阳拗陷处于左旋剪切应力场中;喜山运动孔店期开始,太平洋板块由北北西向北西西俯冲转向和南部印度板块向北俯冲,郯庐断裂和兰聊断裂走滑断裂带由左旋转为右旋,济阳拗陷处于右旋走滑剪切应力场中。

2.3.2 印支期北东-南西向“多米诺骨牌式”逆冲褶皱

中、晚三叠世,在南南西-北北东向水平挤压应力作用下,济阳地区挤压调整产生5条近平行的北西走向褶皱带,即滋镇断层、劳店-石村断层、车陈断层、郭局子-孤西断层和埕北西-五号桩断层控制的5条北西向构造带(图1),济阳地区呈现北西向凹陷相间的构造格局。依据断层活动性和现今地层厚度推断(图3),东北部埕北西-五号桩断层控制的埕岛-垦东构造带变形早、率先形成逆冲褶皱,地层

遭受改造强烈(现今断层下降盘古生界几乎剥蚀殆尽)。随着挤压作用增强,自北东-南西发生类似“多米诺骨牌式”的褶皱形成过程,依次形成了郭局子-孤西断层、车陈断层、劳店-石村断层和滋镇断层断层控制的“叠瓦状”逆冲褶皱带,西南部的滋镇断层形成较晚,依据现存地层(上古生界保存完整)结构推测,逆冲褶皱发生在三叠世末期—侏罗纪初期。

2.3.3 燕山期北东-南西向“多米诺骨牌式”构造反转

晚侏罗世,济阳地区受东缘郯庐断裂和西缘兰聊断裂左行走滑影响,处于南西-北东向扭张应力场中,由于先期形成的北西向逆冲断裂带相对薄弱,所以沿着断面滑脱,发生构造反转。距郯庐断裂的水平距离决定了扭张应力和发生构造反转的先后,埕北-五号桩断层近邻郯庐断裂带,率先发生构造反转,形成北西向正断层,在断层下降盘沉积了2100 m 晚侏罗—早白垩地层(图3(a))。随着

时间推移自北东-南西发生了“多米诺骨牌式”构造反转运动,阳信-石村断层和滋镇断层反转运动较晚,主要在孔店时期,断层下降盘沉积4000 m 厚的孔店组地层(图3(b)),济阳坳陷进入北西向断层控盆的阶段。

2.3.4 喜山期北东向“帚状”走滑

喜山早期(孔店期),济阳坳陷开始处于右旋剪切应力场之中^[12-14],北西向断裂逐渐停止,北东向断裂逐渐形成。沙四—沙三期北东向走滑-拉张断裂成为主导,形成了柴车断层、滋埕断层、临孤断层和花营断层等北东向走滑拉张断层(图1),切割早期滋镇等北西向断裂。济阳东部地区紧邻郯庐断裂带,伴随形成北东东向“雁列式”走滑断裂(垦东断层、孤东断层和长堤断层),切割改造埕北西-五号桩断层。济阳坳陷进入北东向断层控盆的阶段。由于西南部鲁西隆起的“砥柱”作用,断裂整体呈南西收敛、北东撒开“帚状”展布,形成济阳坳陷现今的构造格局。

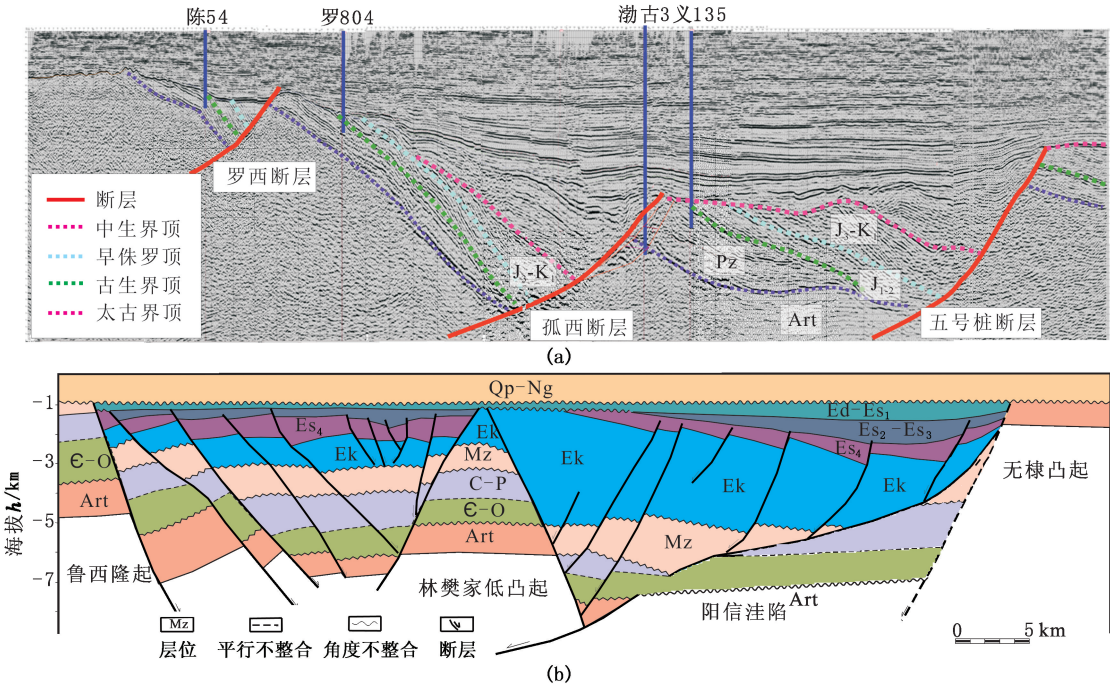


图3 济阳坳陷地质剖面
Fig.3 Geological section of Jiyang depression

3 油气富集规律

3.1 烃源岩层系的差异

济阳坳陷主要发育新生界含油气系统,因此本文重点分析古近系源岩的差异。

从断裂演化来看(图2),惠民凹陷在孔店期(劳店-石村断层反转运动)就进入了断陷期,沙三中期开始进入盆地衰退期(沙三中段—东营组地层厚度

仅300 m),属于早断早衰型凹陷。沾化凹陷沙三期断陷活动加剧,沙二期有所减弱,沙一—东营期进入二次活动高峰(沙三段—东营组地层厚度3000 m),东营末期进入衰减,属于晚断晚衰型凹陷。东营凹陷和车镇凹陷介于两者之间,属于过渡型凹陷。

凹陷沉降史的差异控制了有效烃源岩发育层段(图4),惠民凹陷发育孔店组、沙河街组沙四段和沙三下亚段三套有效烃源岩;沾化凹陷主要发育沙三

下亚段和沙一段两套主力烃源岩;过渡型的东营凹 套主力烃源岩。
陷和车镇凹陷主要发育沙四上亚段和沙三下亚段两

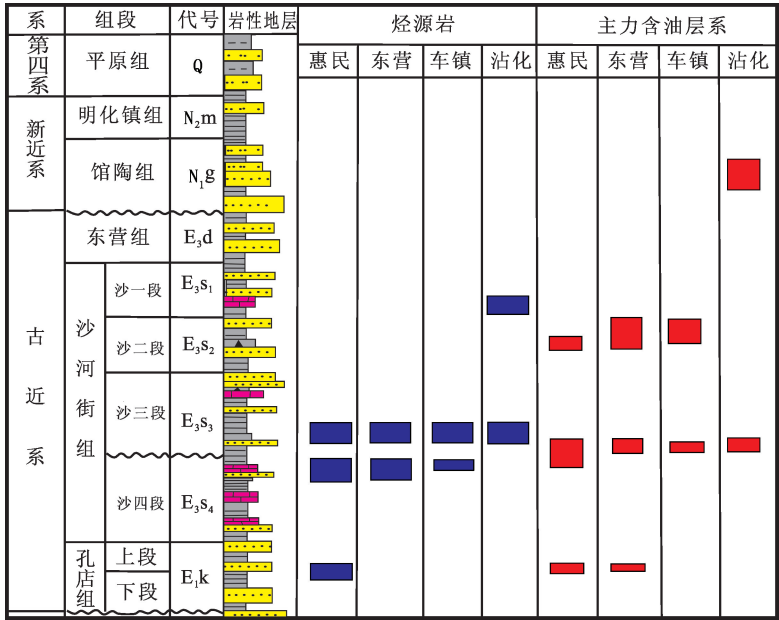


图 4 济阳拗陷不同凹陷成藏差异性对比

Fig. 4 Reservoir formation comparison in different sag of Jiyang depression

3.2 成藏期的差异

断裂控制下的各凹陷埋藏史^[15-17]的差异决定了油气充注时期的不同,利用荧光定量分析技术^[18-21]测试表明,惠民凹陷成藏相对较早,主要为

东营组沉积时期;沾化凹陷相对较晚,馆陶组时期开始成藏,馆上段—明化镇组沉积时期是主要成藏期;东营凹陷和车镇凹陷位于两者之间,馆陶期是主要成藏期(图 5)。

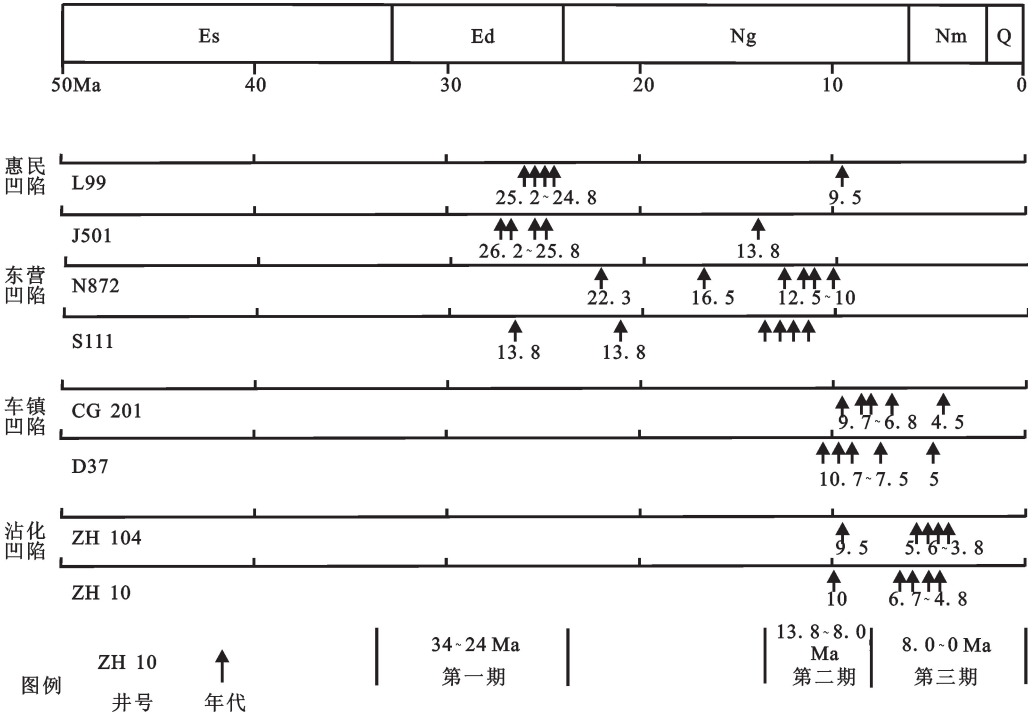


图 5 济阳拗陷成藏期分布

Fig. 5 Hydrocarbon accumulation period distribution in Jiyang depression

3.3 圈闭类型的差异

统计表明,在不同时期断层叠合作用下,不同凹陷第三纪具有“脉动式”伸展过程(图6),伸展率的变化影响了凹陷样式和圈闭类型。惠民凹陷和东营凹陷自孔店期反转以来持续伸展,如孔店期伸展率可达到35%和30%,形成发育中央背斜带的开阔型凹陷(惠民凹陷长轴与短轴比约为1.6,东营凹陷的长轴与短轴比约为1.4)。匹配沉积类型,惠民凹陷主要发育沙三段中央背斜带构造圈闭和南斜坡岩性圈闭。东营凹陷主要形成沙一段覆盖下的沙三上一沙二段陡坡扇构造圈闭、中央带背斜带的构造圈闭和南部缓坡(扇)三角洲体系岩性圈闭。车镇凹陷在孔店-沙四期伸展量一直较小,在沙三期伸展率为15%,长轴与短轴比约为3.5,形成窄陡型凹陷,主要发育沙三上一沙二段北部陡坡带构造圈闭和南斜坡岩性、构造-岩性圈闭。沾化凹陷多组断裂叠加,断裂后期活动性强,呈现多洼多凸的格局,新近系披覆构造圈闭最具特色。

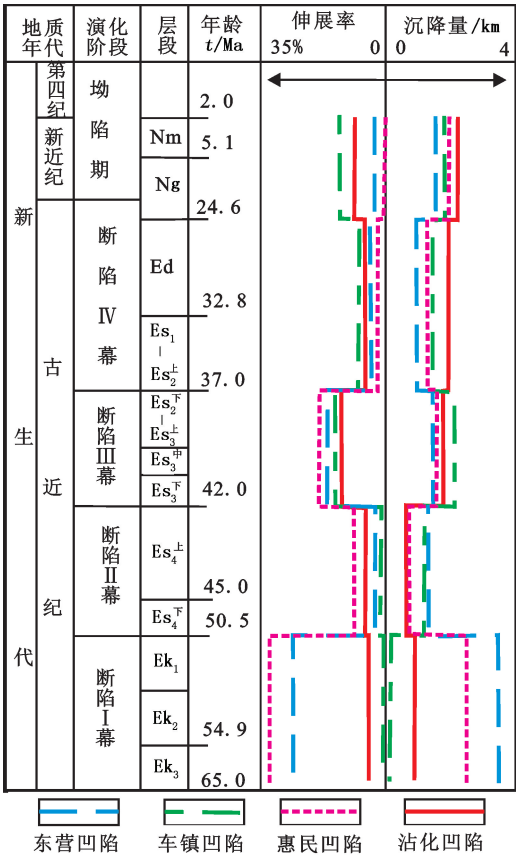


图6 济阳拗陷新生代不同凹陷伸展率统计

Fig.6 Inclusion extensional proportion of different sag of Jiyang depression in cenozoic era

3.4 油气分布规律

烃源岩、成藏期和有利圈闭类型差异控制了不

同凹陷油气藏类型和油气富集层段(图4)。惠民凹陷油气主要聚集在烃源岩内及附近的构造和岩性圈闭中,中央带沙三段构造圈闭和南斜坡岩性圈闭是主要场所;东营凹陷油气主要运聚在沙二—沙三段北部陡坡带、中央背斜带构造圈闭和南部斜坡带岩性中;车镇凹陷油气分布和东营凹陷类似;沾化凹陷纵向油气通道畅通,油气主要富集在新近系披覆构造圈闭中。

4 结 论

(1) 济阳拗陷在印支期板块拼合作用下形成“多米诺骨牌式”有序逆冲褶皱,在燕山期郯庐断裂带和兰聊断裂带左旋走滑运动及燕山—喜山期右旋走滑运动控制下,发生了“多米诺骨牌式”有序构造反转和北东向“帚状”走滑运动,依次形成北西向、北东向和北北东向断裂。

(2) 不同断裂叠加效应下,各凹陷具有“脉动式”伸展过程,伸展率的差异控制东营凹陷和惠民凹陷形成开阔型、车镇凹陷形成窄陡型、沾化凹陷多潜山披覆构造的构造形态。

(3) 成藏条件的差异决定了惠民凹陷沙三段是主力含油层系,东营凹陷和车镇凹陷油气主要聚集在沙三上一沙二段,沾化凹陷新近系油气最富集,济阳拗陷整体具有自南西向北东含油层系上移的规律。

参考文献:

[1] 王秉海,钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 东营:石油大学出版社,1992:54-59.

[2] 杨少春,齐陆宁,李拴豹. 埕岛地区埕北20潜山带裂缝类型、发育期次及控制因素[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2012,36(5):1-6.

YANG Shao-chun, QI Lu-ning, LI Shuan-bao. Fracture types, development phases and controlling factors of Chengbei 20 buried hills in Chengdao area[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2012, 36(5): 1-6.

[3] 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 Zhi-ping, LI Wei, REN Yong-jun, 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.

[4] 李伟,吴智平,张明华,等. 埕岛地区中生代和新生代断层发育特征及其对沉积的控制作用[J]. 中国石油

- 大学学报:自然科学版,2006,30(1):1-6.
- LI Wei, WU Zhi-ping, ZHANG Ming-hua, et al. Development characteristic of Mesozoic and Cenozoic faults and its control over deposition in Chengdao area[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2006,30(1):1-6.
- [5] 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.
- WU Zhi-ping, LI Wei, ZHENG De-shun, 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):405-417.
- [6] 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 Gui-ting, QIAN Xiang-lin, CAI Dong-sheng. The tectonic evolution of Bohai Basin in Mesozoic and Cenozoic Time[J]. Journal of Universities Pekinensis (Scientiarum Naturalium Edition), 2001,37(6):845-851.
- [7] 任建业,李思田. 西太平洋边缘海盆地的扩张过程和动力学背景[J]. 地学前缘,2000,7(3):203-213.
- REN Jian-ye, LI Si-tian. Spreading and dynamic setting of marginal basins of the western pacific[J]. Earth Science Frontier, 2000,7(3):203-213.
- [8] 方旭庆,蒋有录,石砥石. 济阳拗陷沾化地区断裂特征及其与成藏要素和油气分布的关系[J]. 油气地质与采收率,2012,19(2):1-4.
- FANG Xu-qing, JIANG You-lu, SHI Di-shi. Relationship between characteristics of faults and hydrocarbon distribution in Zhanhua area, Jiyang depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012,19(2):1-4.
- [9] 张功成. 中国东北—华北中生代盆地结构构造[J]. 石油学报,1997,18(4):7-13.
- ZHANG Gong-cheng. Structure and tectonics of Mesozoic basins in North and NE China[J]. Acta Petrolei Sinica, 1997,18(4):7-13.
- [10] 万天丰,朱鸿. 郯庐断裂带的最大左行走滑断距及其形成时期[J]. 高校地质学报,1996,2(1):15-27.
- WAN Tian-feng, ZHU Hong. The maximum sinistral strike-slip and its forming age of Tan cheng-Lu jiang fault zone[J]. Geological Journal of Universities, 1996,2(1):15-27.
- [11] 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.
- ZONG Guo-hong, XIAO Huan-qin, LI Chang-bao, et al. Evolution of Jiyang depression and its tectonic implications[J]. Geological Journal of China Universities, 1999,5(3):275-282.
- [12] 方旭庆. 试论走滑运动对垦东地区油气聚集的影响[J]. 河南石油,2006,20(4):1-3.
- FANG Xu-qing. Discussion on the influence of Tan-lu faults strike-slip displacement on hydrocarbon accumulation in Kendong region[J]. Henan Petroleum, 2006,20(4):1-3.
- [13] 方旭庆,林会喜,王智帮. 垦东凸起“陀螺式”演化与油气分布[J]. 西安石油大学学报:自然科学版,2007,22(4):13-16.
- FANG Xu-qing, LIN Hui-xi, WANG Zhi-bang. Gyro-type tectonic evolution and hydrocarbon accumulation of Kendong uplift[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2007,22(4):13-16.
- [14] 罗霞. 垦东—桩海潜山披覆构造带油气分布规律及主控因素[J]. 石油天然气学报,2008,30(3):36-39.
- LUO Xia. Hydrocarbon distribution rule and its main controlling factors in Kendong-Zhuanghai buried hill draping structure[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008,30(3):36-39.
- [15] 蒋有录,刘华,张乐,等. 东营凹陷含油气系统的划分及评价[J]. 石油学报,2005,26(5):33-37.
- JIANG You-lu, LIU Hua, ZHANG Le, et al. Characteristics of petroleum system in Dongying depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005,26(5):33-37.
- [16] 罗霞,闫昭岷,王楠. 应用 PetroMod 软件研究车西地区含油气系统[J]. 油气地质与采收率,2004,11(2):34-36.
- LUO Xia, YAN Zhao-min, WANG Nan. Application of PetroMod software in petroleum system research in Chexi area[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004,11(2):34-36.
- [17] 邱桂强,王勇,熊伟,等. 济阳拗陷新生代盆地结构差异性研究[J]. 油气地质与采收率,2011,18(6):1-5.
- QIU Gui-qiang, WANG Yong, XIONG Wei, et al. Study on structural difference of Cenozoic Basin, Jiyang depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011,18(6):1-5.
- [18] LIU Ke-yu, EADINGTON P, MIDDLETON H. Applying quantitative fluorescence techniques to investigate petroleum charge history of sedimentary basins in Australia and Papuan New Guinea[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2007,57:139-151.