

东营凹陷王家岗构造带孔店组构造特征及其控藏作用

宋国奇^{1,2}, 李继岩¹, 贾光华³, 王东旭³

(1. 中国石油大学 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266555; 2. 中国石化 胜利油田分公司, 山东 东营 257000;
3. 中国石化 胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257000)

摘要:针对东营凹陷王家岗构造带孔店组构造特征复杂、构造演化过程不明确等问题,利用地震、测井、录井、岩心等资料,运用断层玫瑰花图、平衡剖面法、断层封闭性分析等技术手段,解析了王家岗构造带孔店组构造特征及其形成演化规律,揭示了其对油气成藏的控制作用。结果表明:断层主要形成于孔店组沉积时期,由于形成机制的分异性,不同走向断层活动期次具有较大差异。断层平面表现为梳状、平行式、雁列式组合型式,剖面发育阶梯状、“Y”字型、“屋脊”式组合类型。受控于郜庐断裂带和基底走滑断层形成的褶皱带经历“形成期—加剧期—定型期”3个阶段,被早期或同期断层切割,呈现多个断鼻“串珠状”分布的特点。该构造带对油气成藏具有重要的控制作用,是油气运聚最有利指向区,轴部储层物性好于两翼,断层封闭与输导性能是油气运移和聚集的关键因素,断层长度、褶皱带宽度以及储层物性决定了油气平面分布范围,断层构造样式和褶皱带幅度共同控制了油气空间分布规律。

关键词:断层;褶皱带;控藏作用;构造特征;王家岗构造带;东营凹陷

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Structural characteristics and its control on hydrocarbon accumulation of the Kongdian Formation in the Wangjiagang structural zone, Dongying Depression

Song Guoqi^{1,2}, Li Jiyan¹, Jia Guanghua³, Wang Dongxu³

(1. Faculty of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266555, China;
2. Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257000, China; 3. Geological Research Institute,
Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257000, China)

Abstract: The Kongdian Formation in Wangjiagang structural zone in Dongying depression is complex in structural characteristics, and its tectonic evolution process is still poorly understood. To solve these problems, various data including seismic, logging and core were integrated to analyze the structural characteristics of Kongdian Formation, summarize its regularity of formation and evolution, and reveal the control effect on hydrocarbon accumulation with rose diagram of faults, balanced cross section and fault-sealing analysis methods. The following results were obtained. Most faults were formed in the Dongying Kongdian period. Owing to the differences of formation mechanisms, faults with different trends are different in timing and configurations. On plane view, the faults show configurations such as comb-like, parallel or echelon. While on sectional view, they show configurations such as step, “Y” shape or roof-like. Folded belts which were controlled by Tan-Lu fault zone and basement strike slip fault system have undergone three evolutionary stages including formation stage, intensification stage and finalization stage. During this period, the folded belts were cut by earlier or growth faults, resulting in moniliform fault-nose distribution. The structural zone controlled hydrocarbon pooling. It is the most favorable destination of hydrocarbon migration and has better physical properties of reservoir in the axial region than those in two wings. Fault sealing and carrier beds are the key factors controlling hydrocarbon migration and accumulation. The length of fault, the width of folded zone and reservoir physical property determine the plane distribution area of oil/gas, while the fault configuration and amplitude of fold zone jointly control the spatial distribution of oil/gas.

Key words: fault, fold zone, control on hydrocarbon accumulation, structural characteristics, Wangjiagang structural zone, Dongying Depression

收稿日期:2012-03-02;修订日期:2012-12-02。

第一作者简介:宋国奇(1957—),男,博士,教授级高级工程师,油气资源勘探。

基金项目:国家油气科技重大专项(2008ZX05051);中国石油大学(华东)自主创新科研计划项目(11CX06004A);中国石油大学(华东)自主创新计划项目(10CX04002A)。

伸展断陷盆地中,在区域张扭或张性应力背景下,受控于深部走滑断层活动影响,上覆地层会发育伴生构造,主要包括褶皱变形构造以及与褶皱相关的正断层体系^[1]。前人对该类构造带进行过相关研究,认为它往往具有“断层发育、断层切割褶皱、数个断鼻串珠状分布”的特点,对油气输导、圈闭形成及储层分布都具有重要的影响,成为断陷盆地中油气运聚的最有利指向区,是油气勘探工作者最为关注的靶区之一^[2-3]。东营凹陷孔店组勘探程度相对较低,多期构造活动形成的鼻状构造带是油气运聚的重要指向区,前人对该类构造带没有进行深入系统的分析,从而大大制约了东营凹陷孔店组油气勘探。因此,本文选取典型的王家岗构造带孔店组作为研究对象,主要利用石油地质学与构造地质学基本原理,力求通过分析东营凹陷王家岗构造带孔店组基本特征、构造演化、形成机制,阐明构造带对储层、油气运聚、油气分布的控制作用,从而总结东营凹陷同类构造带油气富集规律。

1 地质概况

东营凹陷位于济阳坳陷东南部,走向呈北东东,凹陷具有“北断南超、北陡南缓”的构造格局^[4]。南部缓坡带发育3个大型局部构造带,分别为王家岗构造带、纯化-草桥鼻状构造带、八面河断裂鼻状构造带(图1)。其中王家岗构造带位于南部缓坡带东段,东南接八面河鼻状构造带,西北与牛庄洼陷相连,孔店组油气成藏条件非常优越,发现了王家岗油田(图1)。

2 王家岗构造带孔店组构造特征

2.1 断层基本特征

研究区孔店组断层系统主要由一系列近东西向和

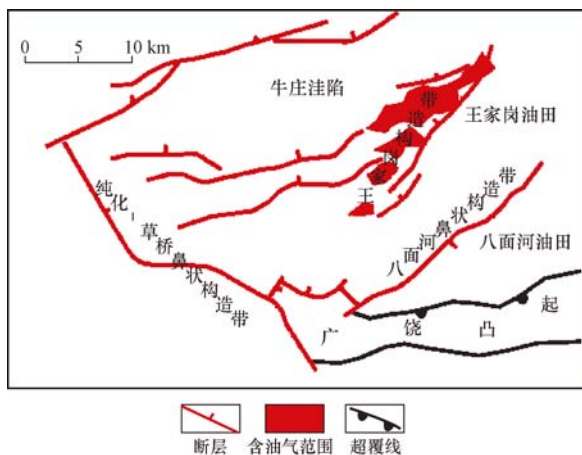


图1 东营凹陷缓坡带构造格局

Fig. 1 Structure framework of the slope zone in the Dongying Depression

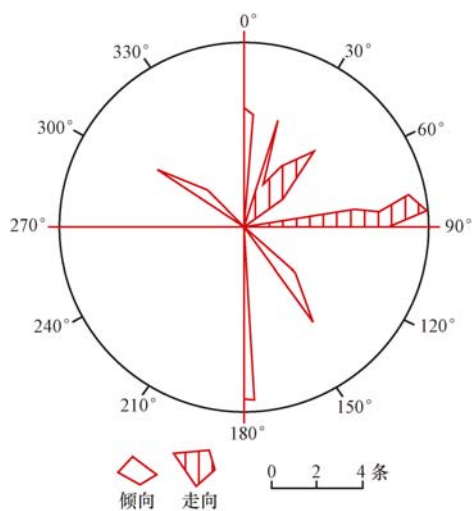


图2 东营凹陷主要断层走向、倾向玫瑰花图

Fig. 2 Strike and dip rose diagrams of the main faults in the Dongying Depression

北东向展布的正断层组成,以近东西向断层为主(图2),前者主要发育在主构造带之上,后者分布于构造带两翼。其中近东西向断层以北倾最为发育,南倾次之,北东向断层以南东倾较发育,北西倾次之(图2)。根据生烃洼陷位置及断层倾向配置关系^[3],将南倾和南东倾断层称作反向断层,北倾和北西倾断层称为顺向断层。

2.2 断层平面展布特征

通过解析断层平面分布图(图3),研究区断层主要形成3种组合型式,分别为梳状、平行式和雁列式(图4)。梳状组合是指主构造带之上近东西向断层终止于西翼北东向断层,形成类似梳状形态;平行式组合主要分布在王家岗主构造带之上,是该区普遍发育一种断层组合形式,主要表现为近东西向断层呈近似平行排列;雁列式组合发育于主构造带两翼,分布局限,主要是四级北东向“毛毛”断层的组合形式(图4)。

断层沿着走向主要有两种特征:1)部分近东西向断层呈弧形弯曲特征,成为断鼻发育的有利区;2)沿着走向,延伸长度较大的断层,倾向发生明显变化(图4)。

2.3 断层剖面组合样式

研究区断层剖面组合有3种类型,分别为阶梯状、“Y”字型及“屋脊”式。阶梯状是区内普遍发育的剖面组合类型,主要表现为数条近东西向展布、倾向一致的断层组合而成,主要分布于主构造带之上(图4);“Y”字型组合主要表现为次级断层终止于规模较大的断层之上,形成类似“Y”字型特征(图4);“屋脊式”断层组合是研究区比较独特的组合类型,一般表现为南倾的

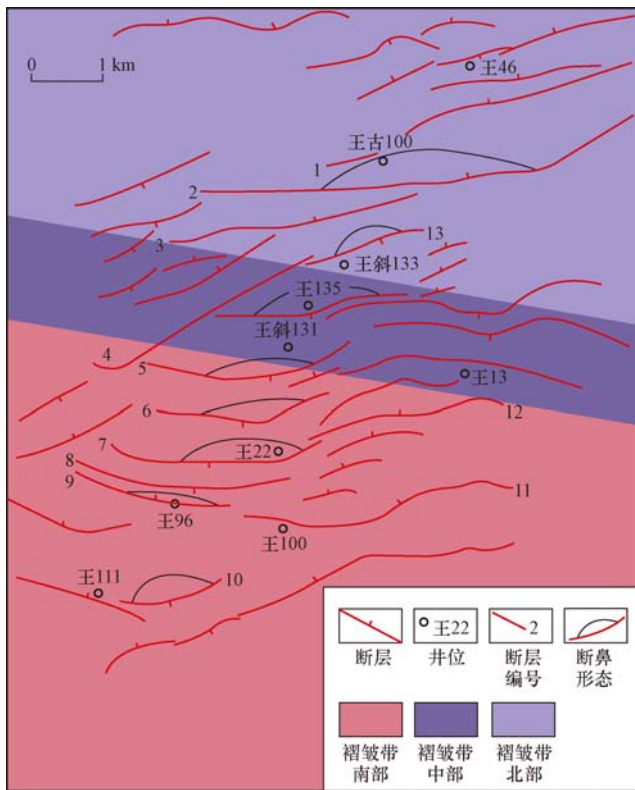


图3 东营凹陷断层平面分布和褶皱构造带形态

Fig. 3 Plane distribution of faults and geometry of the fold structural zone in the Dongying Depression

断层向上终止于北倾的较大规模断层之上,形成多级类似“屋脊”的样式。

2.4 褶皱带特征

褶皱构造高点沿着王100—王斜131—王135—王斜133—王古100—王46井一直向北延伸。根据构造幅度大小,该构造带可分为南部、北部及中部3个区块,王斜133井以北为北部区块,王斜133—王斜131井之间为中部区块,王斜131井以南为南部区块(图3)。通过观察大量垂直于构造带的地震剖面,北部和南部褶皱构造具有相似的背景,表现为幅度较大,约100~150 m不等,波长较宽,约3~4 km不等;中部褶皱幅度较小,约60~20 m不等,波长约2~3 km左右,断层较南北区块更加发育(图3)。该构造带主体发育近东西向断层,两翼发育少量的北东向断层,近东西向断层将其切割,表现出断鼻呈北东向“串珠状”分布的特点(图3),这些断鼻成为油气聚集的有利圈闭。

3 王家岗构造带演化过程和形成机制

3.1 断层演化过程和形成机制

研究区断层整体具有“形成机制决定断层走向,不同走向断层的活动期次具有差异性”的特点,主要表现为近东西向断层形成与东营凹陷主伸展方向的变迁有关,北东向断层发育受控于基底断层再活动。

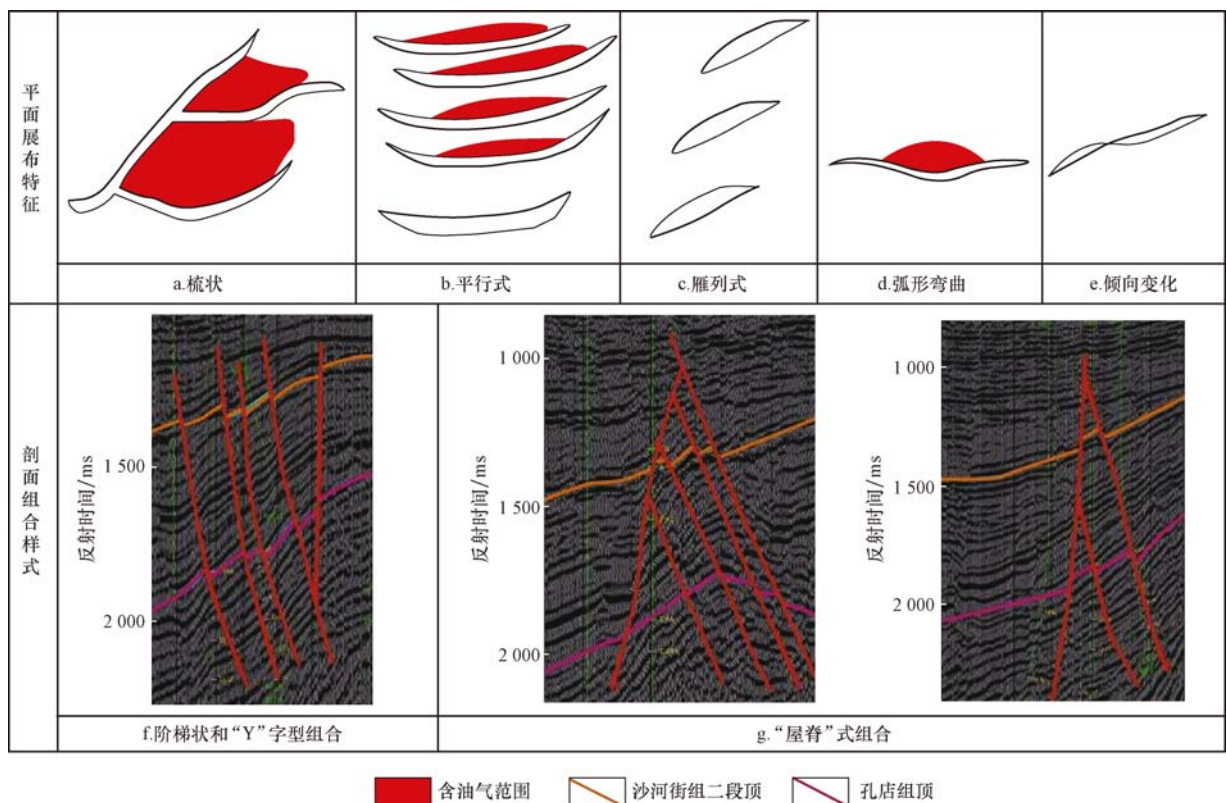


图4 东营凹陷断层平面展布特征和剖面组合样式

Fig. 4 Plane distribution features and profile configurations of faults in the Dongying Depression

3.1.1 近东西向断层

近东西向断层形成受控于东营凹陷主伸展方向的变迁,新生代以来,东营凹陷先后经历了北北东-南南西向和北西-南东向区域引张作用的叠加及北东向右旋走滑作用的改造^[4]。孔店组沉积时期,研究区以北北东-南南西向拉张引力为主,在此力学背景下,形成近东西向的断层。该类断层活动期次如下:孔店组沉积时期开始形成,生长指数大部分小于1.05,对沉积无明显的控制作用;馆陶组沉积早期停止活动,活动持续时间长,主要活动期集中在沙河街组四段上亚段(沙四上亚段)、沙河街组二段—一段沉积时期(图5a),生长指数基本均大于1.10,对沉积具有一定的控制作用。由于牛庄洼陷沙三、四段烃源岩大量生排烃期为东营组-明化镇组沉积时期。因此,该类断层可成为沟通沙三、沙四段烃源岩的主要油源断层,停止活动后成为遮挡油气的主要圈闭断层。

3.1.2 北东向断层

国内外学者的模拟实验研究表明,深部构造控制浅部构造发育演化过程,深部走滑断层控制上覆地层产生伴生构造,如雁行状断层或褶皱^[5]。王家岗地区的中生界顶面发育数条北东向基底断层,古近纪,受控于北北东-南南西向和北西-南东向区域引张作用^[4,6],基底断层继承性活动,从而使研究区孔店组发育北东向断层。孔店组沉积时期,北东向断层开始形成,生长指数大都为1.05左右,基本不控制沉积,沙河街组三段沉积时期,大部分断层已经停止活动,部分断层持续活动至沙二段,断层主活动期集中在沙四下亚段、沙三段沉积时期(图5b)。该类断层活动持续较短,分析可能由于东营凹陷沙三段底部发育一套稳定分布的10~20 m左右的泥岩段,基底继承性活动断层产生的应力大部分被塑性泥岩段吸收,这说明基底断层活动影响盖层中断层发育的范围是有限的。

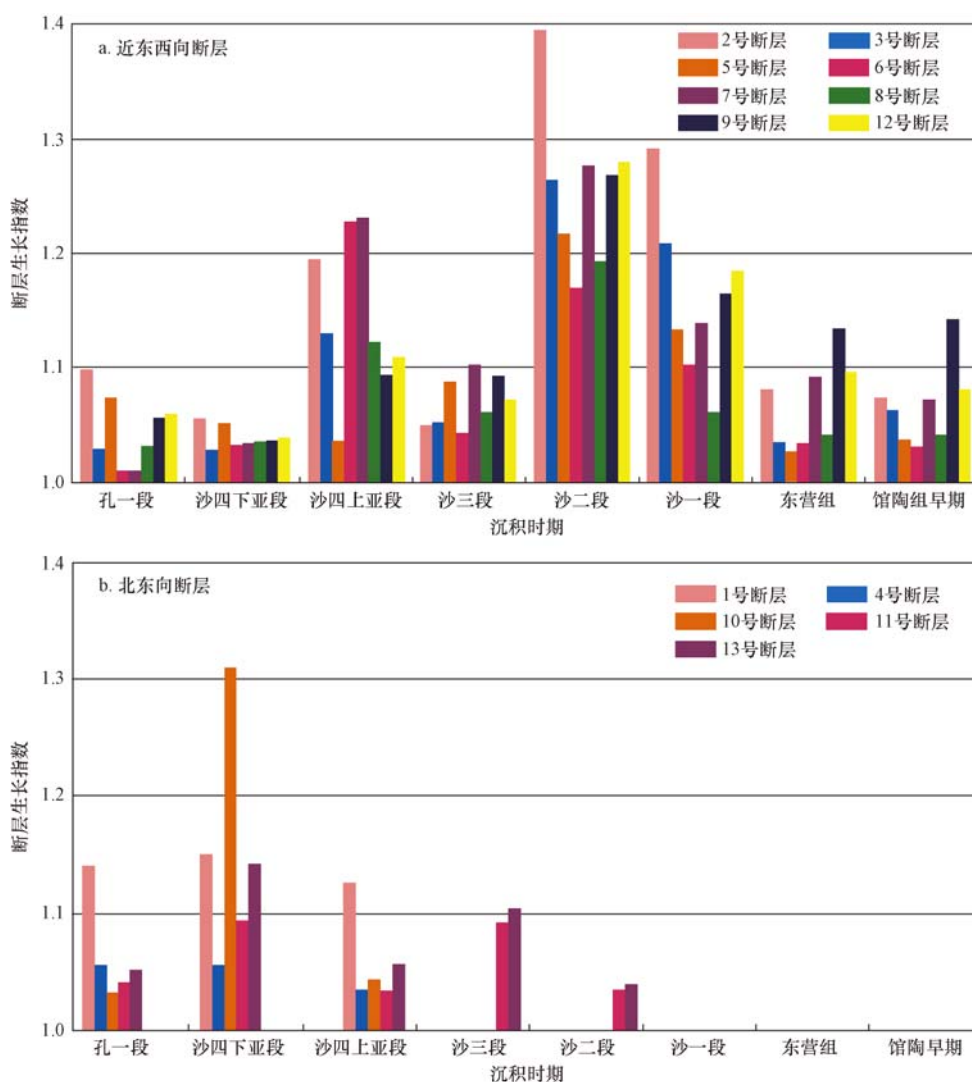


图5 王家岗构造带断层活动时期

Fig. 5 Timing of faults in the Wangjiagang structural zone

3.2 褶皱带演化规律和形成机制

同沉积作用和差异应力造成地层弯曲表现为正断层上盘地层发生弯曲,王家岗褶皱带在断层两侧都发生弯曲,且两盘弯曲程度基本相似,并非差异压实的结果,是横向应力造成的。自晚白垩世开始,西太平洋型的古太平洋板块北西向俯冲率先作用于中国大陆边缘的北部地区,一直持续到古近纪,在郯庐断裂带中、北段诱发出下述的地幔上涌力,使其产生右旋拉张活动^[7],在研究区派生出近东西向挤压力,从而控制王家岗褶皱带形成。结合前人研究成果^[6],通过平衡剖面分析,孔店组和沙四段沉积时

期,地层平缓,未见褶皱形态(图 6a,b),王家岗褶皱带形成演化分为 3 个阶段:1)形成期:沙三段沉积期,郯庐断裂带活动开始强烈活动,主要表现为右旋张扭应力,在研究区派生出近东西向挤压应力,王家岗地区发育褶皱变形,构造挤压带显现雏形,被早期断层切割,形成多个断鼻形态(图 6c);2)加剧期:沙二段—沙一段沉积时期,郯庐断裂带活动逐渐加剧^[7],该褶皱带幅度进一步加剧,其上小规模断层发育,褶皱构造带更加复杂化(图 6d,e);3)定型期:馆陶组沉积时期,郯庐断裂带活动逐渐减弱^[7],对该构造带的改造作用消失,背斜构造带逐渐定性(图 6f),形成了“多个鼻状构造带呈串珠状”分布的特点(图 3)。

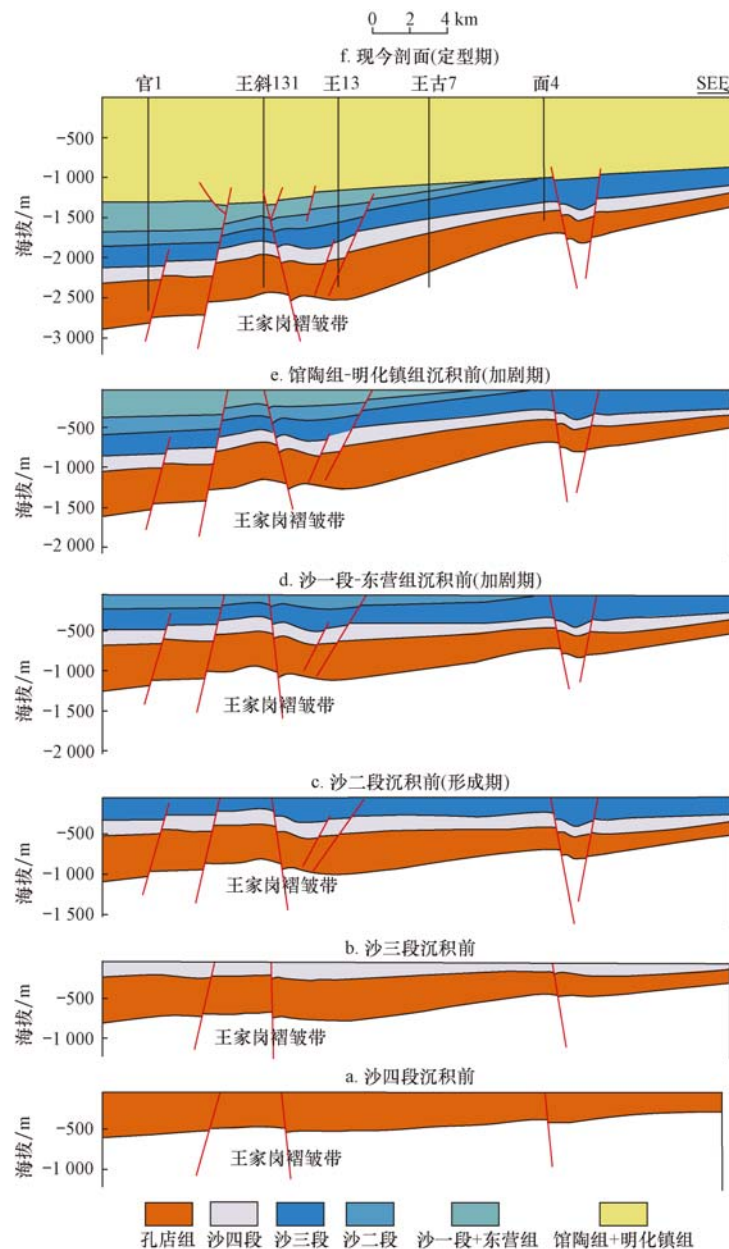


图6 王家岗褶皱带构造演化剖面

Fig. 6 Structural evolution profiles of the Wangjiagang fold zone

4 王家岗构造带控藏作用

4.1 构造带不同位置储层物性的差异性

储集层压实效应的分异主要取决于颗粒抗压实效应、埋藏压实效应和构造压实效应,在储集层物性其他影响因素(沉积相类型、颗粒抗压实效应、埋藏热演化方式等)相近的情况下,背斜轴部产生的张应力补偿差异直接造成了储集物性的局部分异,这种张应力在背斜轴部表现的最强,向两翼方向变弱^[8-9]。本次选取位于研究区主构造带和两翼的代表性探井,位于主构造带之上的王100井、王135井和王斜131井,翼部的王96井和王111井,通过研究其压实效应,对构造带不同部位储集物性进行对比。岩心常规分析和测井解释结果表明,王100井、王135井和王斜131井储集层所表现出的压实效应明显强于王96井和王111井(表1)。利用 Worden^[10]提出的镜下砂岩成分及成岩特征统计方法,对样品进行镜下碎屑组分及成岩特征数点统计,颗粒中石英平均含量为47%;长石含量平均为38.5%,且以石英和长石颗粒为主的刚性抗压实颗粒成分较为相近,表明颗粒抗压实效应并非上述储集层压实分异的主控因素,并且王家岗构造带经历了弱压实-弱溶蚀成岩改造过程,成岩事件差异并非储层压实分异的控制因素。因此,储集层垂向压实减孔量主要通过最大模拟埋深来表示,前人估算求得研究层段埋藏压实率的经验值为0.63每百米^[11],从而求得这几口井的垂向压实减孔量(表1),由于储层段存在垂向和侧向双重压实,利用镜下薄片统计所得的总压实减孔量,减去垂向压实减孔量,即为非垂向压实减孔量(表1)。由此可见,几口井之间非垂向压实减孔量存在明显差异,这表明构造带不同部位储集层物性差异可能由于局部应力变化造成。

4.2 对油气运移聚集的控制作用

4.2.1 运移条件

研究区近东西向断层活动时期早,且具有持续活动的特点,大多数持续到馆陶组沉积时期,与牛庄洼陷生排烃期有很好的匹配关系,且王家岗褶皱带在沙三

段已经开始形成,馆陶组沉积时期定型,油气运移期可成为有利的指向区。利用各种反映封闭性的参数^[12-17],对研究区断层封闭性进行研究,整体来说,顺向断层封闭性较差,反向断层封闭性能好(表2)。因此,近东西向的顺向断层可以为油气向构造带上聚集提供良好的通道(表2),如王古100井南顺向断层(图3),走向为近东西向,断距大约200m,其活动时期从孔店组一段(孔一段)持续到馆陶组早期,断层封闭性差(表2),可以为油气向构造带大规模运移提供良好的通道。

4.2.2 圈闭作用

王家岗褶皱带形成过程中由于断层切割,会形成多个断鼻串珠状分布的特点,这些断鼻在牛庄洼陷大量生排烃期已经形成,往往为油气聚集提供良好的圈闭。断鼻能否成为圈闭主要取决于断层的封闭性能^[18],反向断层封闭性好,更易遮挡油气,顺向断层不易成为油气聚集的圈闭,仅在断层弧形弯曲处封闭性较好,形成圈闭,反向断层封闭性好,容易成为油气聚集的场所(图4)。通过统计构造带已钻遇15个典型的断鼻圈闭,其中13个成藏的圈闭中仅1个为顺向断鼻,其余的均为反向断鼻,未成藏的2个圈闭为顺向断鼻(表3)。

4.3 对油气平面和空间分布规律的控制作用

平面上,油气主要沿构造带主体部位的断鼻处呈“串珠状分布”,两翼仅部分井有油气显示,且显示层段较少(表4)。因此,断层长度、褶皱带宽度以及储层物性决定了油气平面分布范围。

空间上,由于褶皱构造带从孔一下亚段到孔一上亚段具有不同的幅度,可以作为油气聚集的有利指向区。“屋脊式”组合、阶梯状组合断层处油气容易贯穿上下层位运移聚集,导致研究区油气显示深度长,从孔一下亚段到孔一上亚段均有分布(表4)。因此,断层组合类型和构造带幅度成为决定油气空间分布的主要因素。

综上所述,东营凹陷该类构造带对油气具有以下控制作用:构造带主体部位储层物性好于两翼;断层封闭性能是决定油气成藏的关键因素,输导性断层为油气提供良好的运移条件,封闭性断层是形成圈闭的首要条件。断层长度、构造带宽度和储层物性共同决定

表1 研究区构造挤压带不同部位研究层段储集层压实减孔量

Table 1 Porosity loss caused by compression of the Kongdian Formation at different structural locations in the study area

井号	平均孔隙度/%	平均渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	粒间体积/%	总压实减孔量/%	最大埋深/m	垂向减孔量/%	非垂向减孔量/%
王100	23.2	52.3	25.60	25.16	2 800	17.64	7.52
王斜131	21.3	42.3	25.78	26.12	2 850	17.95	8.16
王135	19.6	36.3	26.10	25.62	2 950	18.59	7.03
王111	15.2	23.6	23.80	29.32	2 700	17.01	12.31
王96	12.3	21.3	22.50	28.12	2 918	18.38	9.74

表2 东营凹陷王家岗地区断层封闭性评价

Table 2 Evaluation of fault sealing capacity in Wangjiagang area, the Dongying Depression

断层分类	断层	泥岩涂抹系数	断面正应力/ MPa	紧闭指数	断层倾角/(°)	断层走向与区域 主应力夹角/(°)	模糊综合 评价值	评价结果	与成藏关系
顺向断层	1	0.440	9.32	0.43	69	75	0.525	差	运移通道
	2	0.490	15.20	0.96	62	65	0.675	中等	
	3	0.450	6.71	0.25	73	85	0.500	差	
	4	0.460	8.16	0.67	72	55	0.625	中等	
	9	0.380	6.14	0.42	71	77	0.550	差	
	11	0.410	6.88	0.40	70	78	0.500	差	
	12	0.520	5.15	0.45	72	80	0.525	差	
反向断层	5	0.625	14.21	1.00	65	43	0.750	好	圈闭条件
	6	0.525	15.36	0.95	60	65	0.750	好	
	7	0.450	10.02	0.72	45	70	0.675	中等	
	8	0.825	8.97	0.64	48	72	0.900	好	
	10	0.500	8.23	0.56	52	73	0.750	中等	
	13	0.520	9.65	1.02	54	65	0.825	好	

注:① 泥岩涂抹系数—— $SGR = \frac{\sum (\text{某一段岩柱高度}) \times (\text{泥岩百分含量})}{\text{断距}} \times 100\%$,代表断层带内部被泥岩涂抹的程度。

② 断面正应力—— $p = H(\rho_r - \rho_w)g\cos\theta + \sigma\sin\theta\sin\beta$ 。其中 p 为断面所承受的正压力,MPa; H 为断面埋深,m; ρ_r 为上覆地层平均密度,g/cm³; ρ_w 为地层水密度,g/cm³; g 为重力加速度; σ 为水平地应力,MPa,取值 9.85MPa; θ 为断面倾角,(°); β 为地应力与断层走向之间的夹角,(°),代表断面的紧闭程度。

③ 紧闭指数——断面正应力与岩石抗压强度之比为紧闭指数。本文泥岩抗压强度取 12.4 MPa,粉砂岩抗压强度取 22.4 MPa。

④ 模糊综合评价——综合考虑影响断层封闭性的各种因素,依据它们对断层封闭性贡献的大小,采用模糊数学的方法进行评价。数学模式为 $B = W \cdot R$,展开的矩阵形式为 $[b_1, b_2, \dots, b_n] = [w_1, w_2, \dots, w_n] \cdot [r_{ij}]_{mn}$ 。

⑤ 模糊综合评价——大于 0.8 时,封闭性好;其值为 0.6~0.8 时,封闭性中等;其值小于 0.6 时,封闭性差。

表3 东营凹陷王家岗地区孔店组断鼻圈闭统计

Table 3 Fault-nose type traps of the Kongdian Formation in Wangjiagang area, the Dongying Depression

断鼻圈闭	王斜 140	王斜 99	王 110	王 130	王古 1	王 96	王斜 136	王 26
顺向断层								
反向断层	成藏	成藏	成藏	成藏	成藏	成藏	成藏	成藏
断鼻圈闭	王斜 131	王斜 133	王 135	王 46		王斜 71	王 72	王斜 132
顺向断层				成藏		未成藏	未成藏	
反向断层	成藏	成藏	成藏					成藏

表4 东营凹陷王家岗地区油气平面显示

Table 4 Plane distribution of oil and gas shows in Wangjiagang area, the Dongying Depression

构造位置	井号	孔一上	孔一中	孔一下	构造位置	井号	孔一上	孔一中	孔一下
构造带主体	王 100	▲	▲	▲	构造带两翼	王 109	▲		
	王 110	▲	▲			王 26			▲
	王 113	▲	▲	▲		王斜 132	▲		
	王 130	▲	▲	▲		王斜 136		▲	
	王 135	▲	▲	▲		王斜 71			▲
	王斜 131	▲	▲	▲		王斜 731		▲	
	王斜 133		▲	▲		王古 1			
	王古 100	▲	▲			王 13			
	王 46	▲				王古 7			

了油气平面展布规律,导致构造带主体部位油气显示丰富、两翼较少的分布特征,断层组合类型和构造带幅度控制了油气空间分布规律,一般情况下,油气具有“多层系、长深度”的分布特点。

5 结论

1) 研究区孔店组发育近东西向和北东向断层,断

层形成于孔店组沉积时期;断层主要有梳状、平行式和雁列式平面组合类型,剖面上,断层主要有阶梯状、地堑式、“Y”字型、“屋脊”式组合。受控于郯庐断裂带而形成的王家岗褶皱构造带经历了形成期、加剧期和定型期 3 个演化阶段,根据褶皱幅度和断层发育情况,被分为南部、中部、北部 3 个区块。

2) 王家岗构造带对油气成藏具有很重要的控制作用,构造带轴部物性好于两翼。近东西向的顺向断

层可以为油气运移提供良好的通道,封闭性能好的断层和构造匹配形成的断鼻成为油气聚集的最佳场所。

致谢:编辑和审稿专家对本文提出了很多有益的建议与意见,在此一并表示感谢!

参 考 文 献

- [1] 张建新,许志琴,崔军文. 一个韧性转换挤压带的变形分解作用[J]. 地质论评,1998,44(4):358-366.
Zhang Jianxin, Xu Zhiqin, Cui Junwen. Deformation partitioning of ductile transpressional zones: an example from the eastern segment of the altun fault zone [J]. Geological Review, 1998, 44(4): 358-366.
- [2] 倪金龙,吕宝凤,夏斌. 渤海湾盆地八面河缓坡带断裂系统及其对孔店组油气成藏的影响[J]. 天然气地球科学,2006,17(3):370-374.
Ni Jinlong, Lü Baofeng, Xia Bin. Fault system of gentle slope belt and its affect on the form of oil-gas reservoirs of Kongdian set in Bamianhe Ramp of Dongying depression, Eastern China [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(3): 370-374.
- [3] 徐义卫. 济阳坳陷八面河地区古近系孔店组油气成藏特征[J]. 石油与天然气地质,2011,31(3):352-359.
Xu Yiwei. Characteristics of hydrocarbon accumulation in the Paleogene Kongdian Formation of Bamianhe area, the Jiyang Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 31(3): 352-359.
- [4] 张升平,吕宝凤,夏斌,等. 东营凹陷新生代构造转型及其控油意义[J]. 大地构造与成矿学,2007,31(3):281-287.
Zhang Shengping, Lü Baofeng, Xia Bin, et al. The Cenozoic structural transition and its significance for petroleum accumulation in Dongying sag, Shandong [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2007, 31(3): 281-287.
- [5] 陈布科,刘家铎,杜贤樾. 陈王断裂带的形成机制与油气勘探[J]. 天然气工业,1997,17(1):23-26.
Chen Buke, Liu Jiaduo, Du Xianye, et al. Formation mechanism and oil-gas exploration of Chen-Wang fault zones [J]. Natural Gas Industry, 1997, 17(1): 23-26.
- [6] 万桂梅,周东红,汤良杰. 渤海海域埕庐断裂带对油气成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2009,28(4):1-10.
Wan Guimei, Zhou Donghong, Tang Liangjie. Control of the Tan-Lu zone on hydrocarbon accumulation in Bohai Sea waters [J]. Oil & Gas geology, 2009, 28(4): 1-10.
- [7] 刘顺,沈忠民,司建涛. 埕庐断裂带演化动力学——多力源多时期分段作用模式[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2006,33(5):473-477.
Liu Shun, Shen Zhongmin, Si Jiantao. Dynamics of the evolution of the Tanlu fault zone: a multforce-in-multiphase acting model [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science and Technology Edition), 2006, 33(5): 473-477.
- [8] 韩登林,李忠,寿建峰. 背斜构造不同部位储集层物性差异:以库车坳陷克拉2气田为例[J]. 石油勘探与开发,2011,38(3):282-286.
Han Denglin, Li Zhong, Shou Jianfeng. Reservoir property difference between structural positions in the anticline: a case study from Kela-2 gas field in the Kuqa Depression, Tarim Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(3): 282-286.
- [9] 张凤奇,王震亮,范昌育,等. 库车坳陷构造挤压对流体力学的影响[J]. 石油与天然气地质,2012,33(2):208-216.
Zhang Fengqi, Wang Zhenliang, Fan Changyu, et al. Effects of tectonic compression on hydrodynamic force in Kuqa Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 208-216.
- [10] Worden R H, Mayall M, Evans I J. The effect of ductile-lithic sand grains and quartz cement on porosity and permeability in Oligocene and Lower Miocene clastics, South China Sea: prediction of reservoir quality [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84: 345-359.
- [11] 张琴,朱筱敏. 山东省东营凹陷古近系沙河街组碎屑岩储层定量评价及油气意义[J]. 古地理学报,2008,10(5):465-472.
Zhang Qin, Zhu Xiaomin. Quantitative assessment of clastic reservoir of the Paleogene Shahejie Formation in Dongying Sag of Shandong Province and its hydrocarbon significance [J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10(5): 465-472.
- [12] 时丕同,王秀红,陈涛. 泥岩涂抹长度定量计算及应用[J]. 中国石油大学学报,2009,26(1):60-65.
Shi Pitong, Wang Xiuhong, Chen Tao. Quantitative calculation and application of shale smear length [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2009, 26(1): 60-65.
- [13] 王冠民,庞小军,张雪芳,等. 渤中凹陷古近系石南断层活动性及其对油气成藏条件的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2012,33(6):859-866.
Wang Guanmin, Pang Xiaojun, Zhang Xuefang, et al. Activity of Shinnan fault and its control on hydrocarbon accumulation in the Paleogene in Bozhong Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(6): 859-866.
- [14] 童亨茂. 断层开启与封闭的定量分析[J]. 石油与天然气地质,1998,24(5):451-455.
Tong Hengmao. Quantitative analysis of fault opening and sealing [J]. Oil & Gas Geology, 1998, 24(5): 451-455.
- [15] 张春林,高先志,李潍莲,等. 柴达木盆地奈斯断陷盆地断层封闭性及其对油气运聚的作用[J]. 石油与天然气地质,2004,25(6):659-665.
Zhang Chunlin, Gao Xianzhi, Li Weilian, et al. Sealing capacity of faults and its control on hydrocarbon migration and accumulation in Gas fault depression in Qaidam basin [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(6): 659-665.
- [16] Knipe R J. Faulting process and fault seal [J]. Norwegian Petroleum Society Special Publication, 1992, 1(3): 325-342.
- [17] 李明义,岳湘安,江青春,等. 海拉尔-塔木察格盆地中部断陷输导体类型及其控藏作用[J]. 石油与天然气地质,2012,33(3):407-416.
Li Mingyi, Yue Xiang'an, Jiang Qingchun, et al. Migration system types and their control on hydrocarbon accumulation in central fault depressions of Hailar-Tamtsag Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(3): 407-416.
- [18] 范柏江,刘成林,庞雄奇,等. 渤海湾盆地南堡凹陷断裂系统对油气成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2011,32(2):192-198.
Fan Bojiang, Liu Chenglin, Pang Xiongqi, et al. Control of fault system on hydrocarbon accumulation in Nanpu Sag, the Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(2): 192-198.

(编辑 张亚雄)