

文章编号: 0253-9985(2005)02-0246-06

东营凹陷中央隆起带断裂构造及油气运移

马丽娟¹, 郑和荣¹, 解习农²

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国地质大学, 湖北武汉 430074)

摘要: 东营凹陷中央隆起带的形成是在区域和局部构造应力场的控制下, 由陈南断裂的伸展断弯褶皱和盐-泥塑性层拱张共同作用的结果。受盐-泥层分布、断层活动时的沉积特征、盆地构造应力场等因素的差异作用, 中央隆起带构造的发育程度及组合特征在空间上有较显著的差异, 可划分为辛镇、东营及梁家楼-现河庄3个构造带。中央隆起带上, 油气分布与断裂活动关系密切: ①断层活动强度由弱变强, 油气主要分布于浅层, 形成次生油藏; ②断层的活动强度由强变弱, 油气主要分布于下部, 多为原生油藏; ③断层的活动强度由弱变强又变弱, 油气在上下层位均有分布, 形成具多套含油层系、多油藏类型的复式油气聚集带。

关键词: 东营凹陷; 中央隆起带; 断裂系统; 开启或封闭

中图分类号: TE112.322 文献标识码: A

Faulted structures and hydrocarbon migration in central uplift belt of Dongying Depression

Ma Lijuan¹, Zheng Herong¹, Xie Xinong²

(1. Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing;

2. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei)

Abstract: Central uplift belt of Dongying depression has been formed as a result of joint action of the extensional fault-flexure folding of Chennan fault and diapirism of plastic salt-mud layers controlled by regional and local structural stress fields. Development levels and combination features of structures in the central uplift belt are spatially quite different, due to differential actions of various factors, such as distribution of salt-mud layers, sedimentary features when the faults were active and regional tectonic stress field. The central uplift belt can be divided into 3 structural zones, i. e. Xinzhen, Dongying and Liangjialou-Xianhezhuang structural zones. Distributions of oil and gas are closely related to faulting in the central uplift belt: (1) hydrocarbons have mainly been accumulated in shallow reservoirs as secondary pools when the strength of faulting changed from weak to strong; (2) hydrocarbons have mainly been accumulated in deep reservoirs as primary pools when the strength of faulting changed from strong to weak; (3) hydrocarbons have been accumulated both in shallow and deep reservoirs constitute complex oil-gas accumulation zone with multiple oil-bearing series and various types of oil pools when the strength of faulting changed first from weak to strong and then from strong to weak.

Key words: Dongying depression; central uplift belt; fault system; opening and closing of fault

东营凹陷是渤海湾盆地济阳坳陷中的一个次级构造单元, 为一北陡南缓的箕状凹陷, 北为陈南断层, 南为齐广断层及石村断层。中央隆起带是位于凹陷中部的走向近东西向的背斜构造带, 呈北东东向展

布, 东西长60 km, 南北宽12 km, 面积600 km², 可分为大小不等的10个被断层复杂化、彼此间由鞍部、斜坡和小的向斜相连的次级构造, 其三面为洼陷所包围, 北有民丰洼陷, 西为利津洼陷, 南为牛庄洼陷。

基金项目: 中国石化科研课题“东营凹陷中央隆起带断裂特征、构造演化及含油性研究”(KKT32001023)

第一作者简介: 马丽娟, 女, 38岁, 高级工程师, 物探地质综合解释

收稿日期: 2005-03-15

1 构造特征

中央背斜带可以分为构造特征明显不同的东西两段: 东段为辛镇构造带, 西段可再分为南北两支: 南支为梁家楼-现河构造带, 北支为东营-郝家构造带。

1.1 辛镇构造带

辛镇构造带位于中央隆起带的东段, 中间以鞍部与东营穹窿背斜相连, 构造范围约 50 km^2 , 总体为一个轴向近东西向的不对称长轴背斜。该背斜受两条二级断层切割, 形成近东西向长条状地堑。地堑内又被 14 条东西向三级断层切割(图 1a), 总体呈“包心菜”样式。南北两翼构造差异明显, 南翼倾角 10° , 北翼倾角最大可达 $25^\circ \sim 30^\circ$ 。分布

在背斜南翼的断层为北倾, 而北翼的断层南倾。断层规模北大南小, 地层北陡南缓。该背斜形成于沙河街期, 东营期经历了复杂的构造改造, 最后形成了现今平行式断裂构造体系的面貌, 控制着辛镇背斜油藏的形成与分布。这个构造带为断裂分布数量最多的一个区带, 大约有 300 条断层, 其中 10 多条断层的落差超过 300 m。这些断层向下终止在沙河街组三段, 向上消失于馆陶组。

1.2 东营构造

东营构造处在北东、北西、近东西向三组断裂的交汇点, 位于中央背斜带中部, 呈穹隆形, 半径 3.5 km, 隆起幅度达 200 m (T_2)。断裂在平面上表现为放射状和环状的断裂体系。进一步可分为堑内和堑外北翼、南翼、西翼 4 个区。各区又受三级断层的切割形成 20 多个断块区, 四级断层又将其复杂化。

东营构造南北两翼分别有两条北西-东西向地堑式断层切过。受构造南北两翼近东西向延伸的营 8-辛 3、营 1-营 86、营 31-辛 10 等二级断层的控制, 形成了南北两翼抬升、核部陷落的堑式背斜。南翼断层落差 250 m, 水平断距最大达 450 m (T_2), 北翼断层落差分别为 210 m 和 320 m, 落差上大下小, 至沙河街组一段以下落差增加不明显。断面上陡下缓, 由 60° 向下变缓至 30° 。构造顶薄侧厚, 地堑内断层为同生断层, 沙河街组三段直接盖在塑性层之上。剖面上构成地垒、地堑和断阶, 翼部地层倾角 $5^\circ \sim 8^\circ$ (图 1b), 构造面貌极为复杂, 控制了区内油田和油藏的形成和分布。

1.3 梁家楼-现河断裂系统

该断裂系统由复杂褶皱断裂系组成。在平面上呈左阶斜列式排列, 位于东营凹陷中央隆起带的西南段, 自北向南由河 4、河 31、河 125 等 3 个断裂组成, 呈向北东收敛、南西撒开的帚状展布形态(图 2)。断层均向北西倾斜, 向北东延伸, 并表现出向南东凸出的弧形。剖面上组成了向北西节节下掉的断阶带(图 1c)。收敛端断层数量少, 落差大, 最大可达 500 m; 撒开端断层多, 落差小以至消失。在剖面上呈上陡下缓的铲形, 一系列次级断裂向下延伸到主断裂之上, 总体构成一带状或马尾状断裂组合。与这套断裂相伴生, 发育一套呈斜列式展布的滚动背斜。背斜呈短轴状。

2 演化机制

中央隆起带的构造演化对油气勘探有重要的

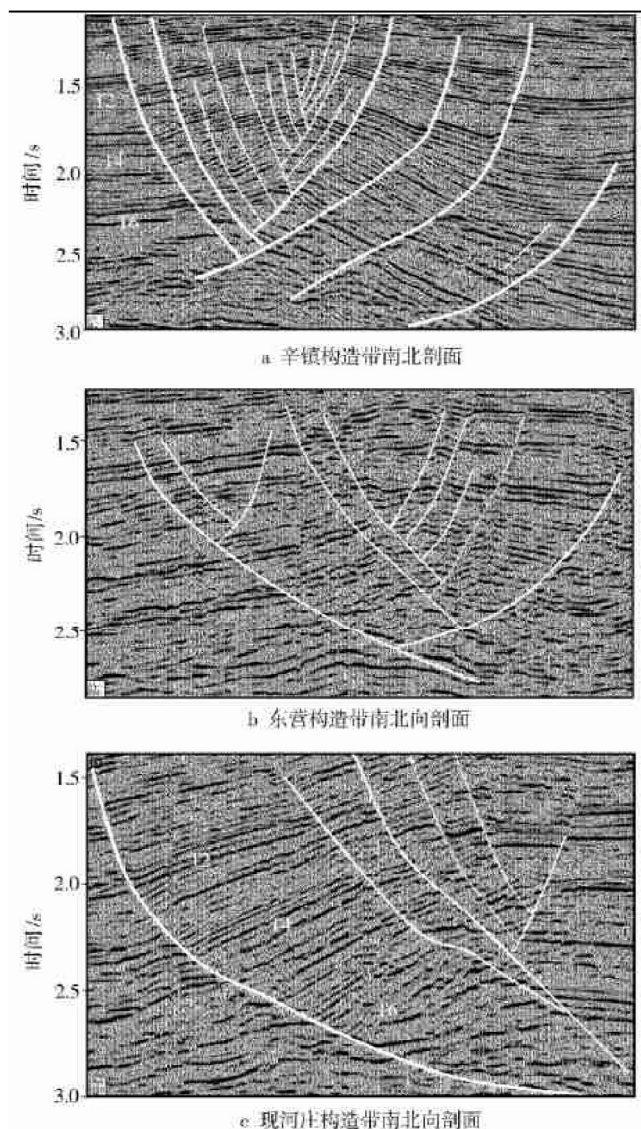


图1 中央隆起带构造剖面

Fig. 1 N-S structural sections in central uplift belt

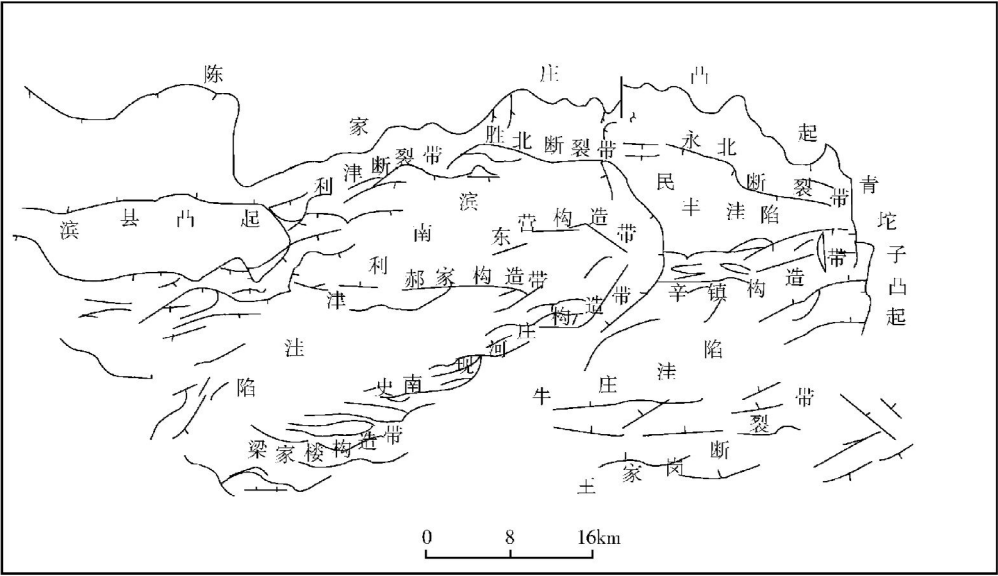


图 2 东营凹陷主要断裂平面分布图

Fig. 2 Distribution of the major faults in Dongying depression

意义, 已有较多的研究^[1~5]。根据地震资料的精细解释及钻井等资料综合分析, 中央隆起带是第三系的同沉积构造带, 它发育于东营凹陷形成之后。中央隆起带的形成是在区域和局部构造应力场的控制下, 由陈南断裂的伸展断弯褶皱和塑性层拱张共同作用的结果。

伸展断弯褶皱作用指的是一个切过先存地层并随深度向下弯折变缓的铲式正断层发育时, 当其上盘与下盘拉开时, 由于岩层不是刚性体, 受重力作用, 上盘岩块将沿着倾斜角大约为 70° 的 Coulomb 破裂面滑移而充填这个空隙。在这一过程中, 岩层将发生沿破裂面方向的变形, 形成滚动背斜。变形区构成了滚动背斜的前翼, 并处在沿断层弯折部位定位的活动轴面和不活动轴面之间。不活动轴面是一个代表变形前沿活动轴面分布的岩石的一个界面。在递进的断层滑移过程

中, 不活动轴面向离开活动轴面的方向(向盆地方向)位移, 从而, 滚动变形区随断层的位移增大而逐渐加宽。在同沉积断陷盆地中, 伸展断弯褶皱的主要地层特征是在褶皱的前翼越向下进入变形区的岩层越宽, 褶皱幅度越大; 向上则逐渐变窄, 以致消失, 岩层变为水平^[6,7]。

盆地内部的变形与控盆主边界断层的几何形态有密切关系。平面上(图 2), 中央隆起带的走向几乎完全平行于陈南断层; 在地震剖面上, 中央隆起带依托于北部的陈南一级盆倾断层而存在(图 3), 并位于其上盘。地震剖面显示中央隆起带深部地层处于变形区内靠近陈南断层的地层均变陡, 显示褶皱形态, 且深部地层褶皱范围大; 中部地层处于变形带中的地层部分变陡, 但靠近主断层未进入变形带的部分保持水平; 再向上, 进入变形带地层的宽度逐渐变小, 因而地层倾角逐渐变缓。由

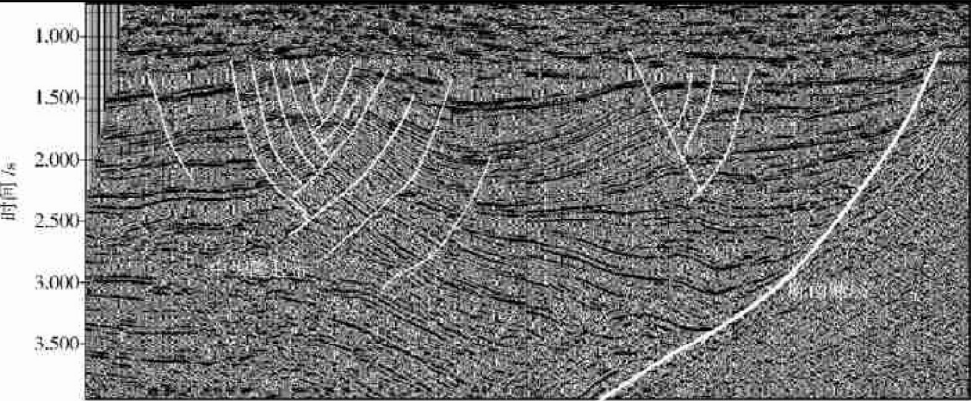


图 3 中央隆起带与陈南断层的关系图

Fig. 3 Diagram showing the relationship between Chennan fault and the central uplift belt

此判断中央隆起带是一个大型的受陈南铲式断裂带所控制的伸展断弯褶皱。

其次,从东营凹陷地层构成序列分析,东营凹陷第三系是在变形的基底岩系上发育形成的一系列半地堑-半地垒构造,由两个不同构造层序构成。下第三系孔店组、沙河街组和东营组构成下部同裂陷期构造层序。受基底断块系统控制,下第三系呈楔形、梯形块状充填于半地堑或地垒之中。上第三系馆陶组、明化镇组呈层状或毯状披覆于整个盆地区。上、下第三系之间为区域性裂后不整合界面(T_1)。

从东营凹陷的地层结构看,包括3套力学性质不同的岩系。深层是刚性的中生界基底,表层是较硬的第三系沉积盖层,中间层孔店组、沙河街组四段早期在凹陷中部沉积了大套的盐岩与石膏层。中央隆起带3个构造带均有井钻遇盐类岩层。钻井揭示沙河街组四段分布范围较广、厚度为200~400 m。除中央隆起带外,在其北部的坨庄构造、民丰洼陷和南部的牛庄洼陷中盐岩也很发育。钻井和地震剖面显示,与沙河街组四段下部含盐层序相比,孔店组一段含盐层序范围较局限,但厚度较大,集中发育在东营构造、郝家构造和辛镇构造之间。

辛镇构造的XDF10井在4 052.0~5 345.0 m井段孔店组一段中钻遇。这3套岩系受力后变形特征显然是不同的,其中塑性层的变形又是控制底辟构造形成的主要因素。

因此,中央隆起带最初的形成起源于陈南断层的重力滑动作用,孔店组-沙河街组四段盐-泥沉积时东营凹陷是受陈南断裂控制的南断北超的盆地。在持续的伸展作用下,盆地不断的向北掀斜。陈南断裂发生的重力滑动形成伸展断弯褶皱效应,盐泥沉积体向盆地内部聚集,并在断层周围发生垮塌。盆地南部斜坡带则表现为盐泥体系沿斜坡向盆地内运动。在这两种相反的重力滑动作用下形成对盆地底部中央地层的对偶挤压力,使盆地底部中央地层形成向上的拱张力;当拱张力大于上覆地层的重力作用时,出现中央位置的上拱现象。由于东营凹陷塑性岩层发生过流动,原始层理遭受强烈挠动,局部有塑性岩层的刺穿现象。地震剖面上(图4)塑性岩层的反射特征为界面杂乱、不连续,与成层完好的上覆沉积岩系之间形成了清晰的分界面,显示出顶拱的层位关系。由此说明中央隆起带的形成与塑性层拱张作用有关。

中央隆起带构造的发育程度及组合特征在空

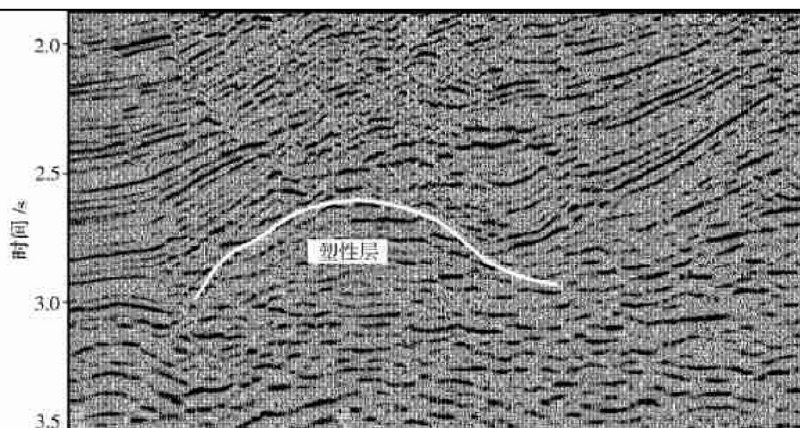


图4 东营凹陷塑性岩脊带剖面图

Fig. 4 Cross section of the plastic diapiric zone in Dongying depression

间上有较显著的差异。分析原因是受盐-泥层分布、断层活动时的沉积特征、盆地区域构造应力场等因素的综合作用。塑性的盐-泥层是产生变形的物质基础。在同一构造背景下,中央隆起带的盐、石膏、泥组合在空间上分布具有差异性,但差异性仅仅表现为发育的程度;因此导致其构造特征的显著差异主要原因还有以下两个方面。

(1) 构造就位空间的作用。构造就位空间实际上是一个构造应力释放的空间,隆起带断层规模的大小取决于其相邻构造的发生和发育程度。梁家楼-现河庄构造向北面临的是开阔的滨南-利津深洼陷区,受北部利津断裂带的影响较小,构造空间充分,因此发育了两套向北倾的滑脱断层族;相比之下,东营构造北部面临的是滨南-利津深洼

陷东部的缓坡,又距离北部边界断裂带——胜北断裂带较近,因而只发育一套向北倾的滑脱断层带。该断裂带又与胜北断裂带构成了狭窄的构造就位空间,从而形成了局部挤压应力场,促使盐-泥核背斜形成。辛镇构造虽北临民丰洼陷,但距北部的永北断裂带较近;相反,其南为开阔的牛庄洼陷,构造空间充分,才形成向南倾的滑脱断层族,不发育盐-泥核背斜。

(2) 断裂活动时的沉积特征。沙河街组三段中期沉积开始,东营三角洲自东向西进积,并向滨南-利津洼陷推进,影响到了中央隆起带的中段和西段,因而也可控制向北西方向的滑脱作用。在隆起带的东部(辛镇构造),沉积物主要来自北部,由北向南推进,从而可能控制向南的滑脱作用。

因此,中央隆起带的形成是在陈南断层上盘下掉,并沿断面产生的上拱力和盆地的差异升降、断块掀斜运动在凹陷中央产生挤压力的合力,伴有上覆沉积盖层的重力影响,其作用使得本区孔店组和沙河街组四段大面积的塑性层侧向流动引起拱张断裂,奠定了中央隆起带的雏形以及后期的宏观展布。只是后期望性层的拱张加大了背斜带上升幅度,断裂更加错综复杂,在隆起带的背景

上又叠加了多个既有成因联系又相对独立的局部背斜构造而已。

在中央隆起带的发育过程中,区域应力场的作用以及膏、泥岩的塑性上拱始终扮演着重要角色,同时由于时空的差异性,使得研究区的构造演化比较复杂,很难用单一的机制或一种简单的模式来解释。总体来说其演化经历了沙河街组四段期具雏形、沙河街组二段期和沙河街组二段期发育以及东营组最后定型 3 个阶段。

3 在油气聚集中的作用

断层在某一段时间开启,导致油气的纵向运移,而在其封闭时,则会导致油气的聚集成藏。正是由于断层开启和封闭循环往复的过程^[8~12],导致大的油田乃至油区的形成^[13~15]。

断层可作为油气的通道,也可作为油气的遮挡面,具有开启和封闭双重性。断裂系统对盆地流体和油气的输导能力是十分显著的。东营中央隆起带的同生断裂系统,大多断入超压系统内部,因此,常常沿断层形成相对低压的泄压带,对压力箱产生分隔作用。河 139 井便是一个例子(图 5),在断层附近为正常压力,证明了断裂泄压作用的

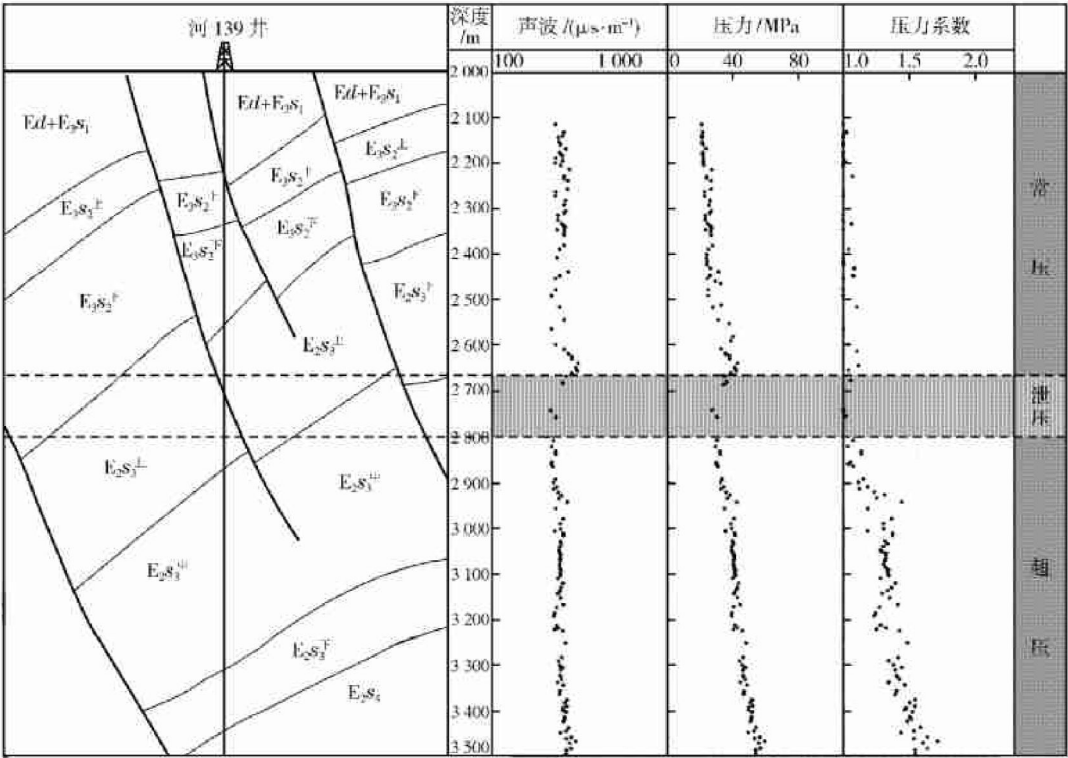


图 5 河 139 井压力结构与断裂的关系

Fig. 5 Relationship between formation pressures and faults in He139 well

存在,且其上下均发育着超压,显然各超压段有着独自の封闭层。

在油气生成、运移聚集及后期保存过程中,都有地层水的参与。因此,地层水的性质及其变化往往反映油气的聚集、保存条件。中央隆起带地层水矿化度高,变化范围较大,下第三系一般大于 10 g/L,绝大多数为 10~200 g/L。上第三系较低,小于 10 g/L。各含油层系地层水矿化度与 Cl^- 含量不同。总体上,深部层系水较重,而浅部层系较轻。在平面上,封闭性好的断块区地层水矿化度高;封闭性差的断块区地层水矿化度较低。过井水化学剖面反映胜北断裂带、现河断裂带和王家岗断裂带是流体垂向运移的活跃带,高矿化度的地下水拱明显,反映断裂在流体垂向运移的重要疏导作用,如一些断块区在较浅部位出现了与其埋藏深度不相匹配的高矿化度地层水。

油气的运移很大程度上取决于油气运移时期断层的活动特征。通过对中央隆起带油田的解剖,总结出油气运移期以来断层活动的 3 种规律: ①断层活动强度由弱变强,油气主要分布于浅层,形成次生油藏; ②断层的活动强度由强变弱,油气主要分布于下部,多为原生油藏; ③断层的活动强度由弱变强又变弱,油气在上下层位均有分布,形成具多套含油层系、多油藏类型的复式油气聚集带。营 13 断块的断层生长指数表明该断层的活动强度由弱变强,因此营 13 断块区的一个显著特点是含油层位主要是东营组和馆陶组,占本区储量的 81.7%,而沙河街组油气较贫乏,油气主要富集在浅层。

参 考 文 献

- 王秉海, 钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1992. 357
Wang Binghai, Qian Kai. Geological research and exploration practice in Shengli oil area[M]. Dongying: Petroleum University Press, 1992. 357
- 宗国洪, 肖焕钦, 李常宝. 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): 275~182.
Zong Guohong, Xiao Huangqin, Li Changbao. Evolution of Jiyang depression and its tectonic implications[J]. Geological Journal of China Universities, 1999, 5(3): 275~182
- 陈发景, 汪新文. 中国中、新生代含油气盆地构造和动力学背景[J]. 现代地质, 1992, 6(3): 317~327
Chen Fajing, Wang Xinwen. Genetic types, tectonic systems and geodynamic models of Mesozoic and Cenozoic oil and gas bearing basins in China[J]. Geoscience, 1992, 6(3): 317~327
- 赵重远, 周立发. 成盆期后改造与中国含油气盆地地质特征[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 7~10
Zhao Zhongyuan, Zhou Lifa. Post-reformation and geological features of China's petroliferous basins[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(1): 7~10
- 靳久强, 宋建国. 中国板块构造对含油气盆地演化和油气分布特征的控制[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 2~8.
Jin Jiuqiang, Song Jianguo. Control of plate tectonics over evolution of petroliferous basins and characteristics of oil and gas distribution in China[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 2~8
- Withjack M O, Islam Q T, Pointe P Q La. Normal faults and their hanging-wall deformation: an experimental study[J]. AAPG Bull, 1995, 79(1): 1~18
- Schlische R W. Geomertry and origin of fault-related folds in extensional settings[J]. AAPG Bull, 1995, 79(11): 1 661~1 678
- 曾涛, 徐宏节. 地震层速度在断层封堵性研究中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 161~163
Zeng Tao, Xu Hongjie. Application of seismic interval velocity in study of fault-sealing[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(2): 161~163
- 阎福礼, 贾东. 东营凹陷油气运移的地震泵作用[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 295~298
Yan Fuli, Jia Dong. Seismic pumping mechanism of hydrocarbon migration in Dongying depression[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(4): 295~298
- Al-Shaieb Z. Compartmentation, fluid pressure importance in Anadarko exploration [J]. Oil and Gas Journal, 1991, 7(1): 52~55
- 李春光. 东营凹陷断裂系统对油气藏分布的控制[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(1): 87~93
Li Chunguang. Control of fault system on oil and gas distribution in Dongying depression[J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(1): 87~93
- 刘晓峰, 解习农. 东营凹陷低压系统的特征及成因机制[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 66~69
Liu Xiaofeng, Xie Xinong. Origin and characteristics of under pressure systems in Dongying depression[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(1): 66~69
- 袁选俊, 谯汉生. 渤海湾盆地富油气凹陷隐蔽油气藏勘探[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 130~134
Yuan Xuanjun, Qiao Hansheng. Exploration of subtle reservoir in prolific depression of Bohai Bay basin[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(2): 130~134
- 牛嘉玉. 吐哈盆地台北凹陷油气封盖主控因素分析[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(3): 232~236
Niu Jiayu. Analysis of control factors for cap-sealing oil and gas in Taibeisag, Turpan-Hami basin[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(3): 232~236
- 傅广, 赵荣, 姜振学. 大庆长垣及西部地区泥岩盖层的封闭性能[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(3): 232~237
Fu Guang, Zhao Rong, Jiang Zhenxue. Sealing property of mudstone caprocks in Daqing Placanticline and its westerners[J]. Oil & Gas Geology, 1998, 19(3): 232~237