

埕北断坡区断层对油气成藏的控制作用

高长海^{1,2}, 查明²

(1. 中国石油大学(华东) 博士后流动站, 青岛 266555;

2. 中国石油大学(华东) 地球资源与信息学院, 青岛 266555)

摘要: 根据埕北断坡区三维地震资料, 探讨了主要断层的构造特征; 依据石油运移地球化学资料和油气分布特征, 研究了主要断层对油气运移的控制作用。结果表明, 研究区油气以沿断层垂向运移方式为主, 以侧向运移为辅, 该区油气藏类型多与断层有关, 主要圈闭类型为断块和断鼻型。据此建立了油气沿断裂运移的模式, 并预测了有利的油气聚集区域。认为歧东断层和张东断层之间、张北断层和张东断层之间、海4井断层和羊二庄断层之间等区域以及关家堡—埕海地区为有利勘探区。

关键词: 埕北断坡区; 断层; 油气运移; 油气藏; 控制作用

中图分类号: P618.130.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2011)01-0074-05

0 引言

大量的研究表明, 断裂对沉积盆地中油气藏的形成具有重要作用^[1-6]。油气沿断层的运移可以分为垂向运移和穿越断层的侧向运移。垂向运移是由于断层的通道作用使“油源”(包括油灶、主运载层和早期油气藏)中的油气沿开启的断层由深部地层向浅部地层运移, 在合适的圈闭中聚集成藏; 侧向运移是指断层两侧的砂体接触, 从而使油气穿越断层沿主运载层进行斜侧向运移, 并在合适的圈闭中聚集成藏。在陆相含油气盆地, 尤其是陆相断陷盆地中, 受断层控制或与断层有关的圈闭捕获油气成藏的比率很大, 可以形成多种类型的断层油气藏。笔者以埕北断坡区为例, 说明断层对油气运聚成藏的控制作用。

1 地质概况

研究区位于歧口凹陷向埕宁隆起过渡的斜坡部位, 北起歧口凹陷的歧东构造带, 南至埕宁隆起北斜坡, 西起羊二庄—友谊地区, 东至大港矿区登记线,

勘探面积约1200 km², 包括歧东、张东、张东东、赵东、关家堡及埕海等6个局部构造, 北邻歧口凹陷, 西邻歧南凹陷, 具良好的油源条件(图1)。

中生代晚期, 在NW-SE向拉张的区域应力场背景下, 伴随埕宁隆起的发育, 埕北断坡区在整体抬升的基础上, 发育了歧东、张北、张东、海4井、赵北、羊二庄、羊二庄南等7条主要断层, 致使研究区由北向南呈节节抬升的断阶结构, 形成了“三阶一坡”的构造格局(图1)。这些主控断层控制了本区的构造框架、沉积作用、油气的运移和圈闭的形成。以上主要断层均为走向NE或近EW的正断层, 主要特征见表1。

2 断裂构造特征

埕北断坡区位于歧口凹陷的南部斜坡。因此, 受持续不断的区域张扭性构造应力场和箕状断陷盆地的控制, 研究区的断裂主要表现为张性断裂, 其中一级、二级断裂为同沉积断层, 对地层展布具有较强的控制作用, 而较低级别的断裂和依附于主断层的次级断裂是形成断层圈闭条件的有利因素。

收稿日期: 2009-09-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 40772081) 资助。

作者简介: 高长海(1977), 男, 山东东营人, 博士, 主要从事石油地质以及油气田开发等方面的研究。通讯地址: 山东省东青岛经济技术开发区长江西路66号, 中国石油大学地球资源与信息学院; 邮编: 266555; E-mail: gch260725@163.com

表 1 埕北断坡区断裂要素

Table 1 The element of faults in Chengbei fault-ramp

断层名称	性质	走向	倾向	倾向(°)	延伸长度(km)	断距(m)	断开层位
歧东	正	近 EW- NE	N- NW	65~ 80	12	160~ 250	N _g - Es ²
张北	正	NE	NW	55~ 70	14	250~ 650	N _g - Es ³
张东-海 4 井	正	近 EW	NE- N	40~ 80	28. 5	90~ 700	N _g - Es ³
赵北	正	NE- 近 EW	NW- N	60~ 70	8	280~ 850	N _g - Mz
羊二庄	正	NE	NW	50~ 75	24	80~ 700	N _g - Mz
羊二庄南	正	NE- 近 EW	NW- N	30~ 75	9	130~ 250	N _g - Mz

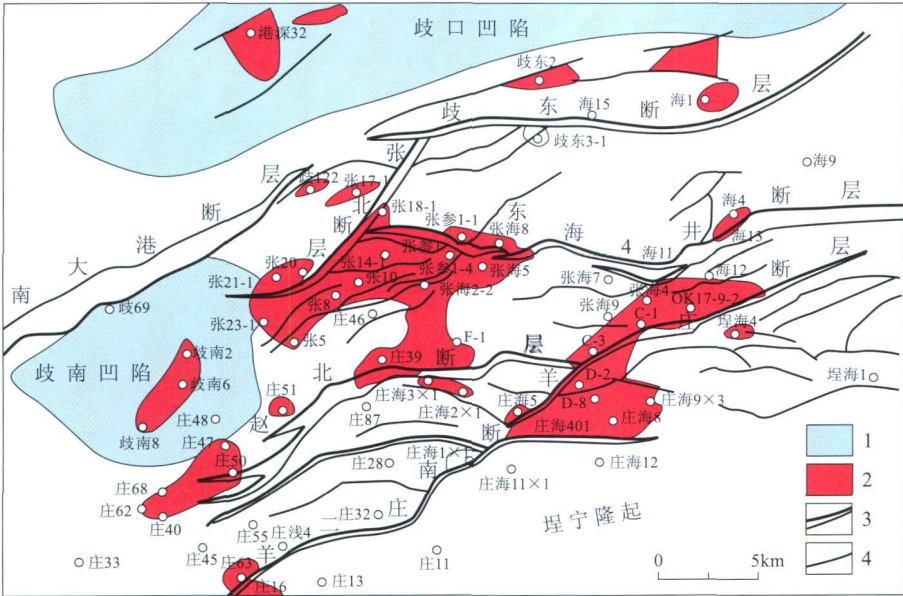


图 1 埕北断坡区油气分布与断裂关系

Fig. 1 Relation between hydrocarbon distribution and faults in Chengbei fault-ramp

1. 生烃凹陷 2. 油气田 3. 主控断层 4. 次级断层

2.1 平面分布特征

图 2 为埕北断坡区 T2 反射层(相当于沙一段底)断裂构造纲要图。由图可见,研究区内断层十分发育,规模大小不一,其中歧东、张北、张东、海 4 井、赵北、羊二庄、羊二庄南等为二级主断层,构造线走向呈 NE 或近 EW 向为主,呈亚平行排列,倾向多为 N 倾,三、四级断裂亦以 N 倾为主。主断层之间在平面上尽管相互交切或连接,但总体上近似平行,并向歧口方向同倾下掉。次级断层伴生于主断层的两侧,与主断层构成平行状、帚状、“入”字型和羽状等组合关系。这些断层均属于古近纪发育、新近纪活动变弱的生长性断层,构成了由埕宁隆起北斜坡向歧口凹陷中心节节下掉的断阶结构,这一特征在剖面上更为明显(图 2)。

受上述主控断层的控制,研究区发育了歧东、张东、张东东、赵东、关家堡及埕海等 6 个局部构造,每

个构造又发育有背斜、断鼻、断块、潜山、地层、岩性等多种类型圈闭,为油气聚集提供了场所。

2.2 剖面特征

由图 2 可见,研究区主控断层的断面通常较陡,断面比较平直,甚至近于直立,剖面几何形态主要有铲状和座椅状两种。向上断开 T1 反射层,向下穿过 T6 反射层并一直延伸至深部地层中。

断层规模、几何形态等的差异和复杂性造成本区断层的剖面组合形态复杂多样,主要包括:①台阶式或阶梯式组合:该类组合是本区最发育的类型,除歧

东、张东、海 4 井断层、赵北、羊二庄(南)断层构成了本区总体断阶结构外,次级断层与主断层也多形成此类组合(图 2,图 3);②地堑式组合:在盆地的裂陷期,这种类型的断裂特别发育,典型的实例为关家堡构造,该构造就是夹持于羊二庄和羊二庄南断层之间的一个地堑式组合(图 3);③地垒式组合:如张参 1 井构造就是由张东断层与上升盘次级断层形成的地垒式组合;④“Y”字型组合:包括同倾“Y”字型和反倾“Y”字型 2 种,如张东断层与次级断层往往构成同倾“Y”字型(图 2,图 3),而海 4 井区和羊二庄地区发育反倾“Y”字型;⑤花状组合:如张东断层在主测线张东东三维 inline 150 测线以西,断面较为陡直,与小型正断层组成花状构造形态,向东至 inline 260 测线附近,该断层断面变得更陡直,花状构造形态消失。这种构造的存在反映了区域扭动应力场的影响。

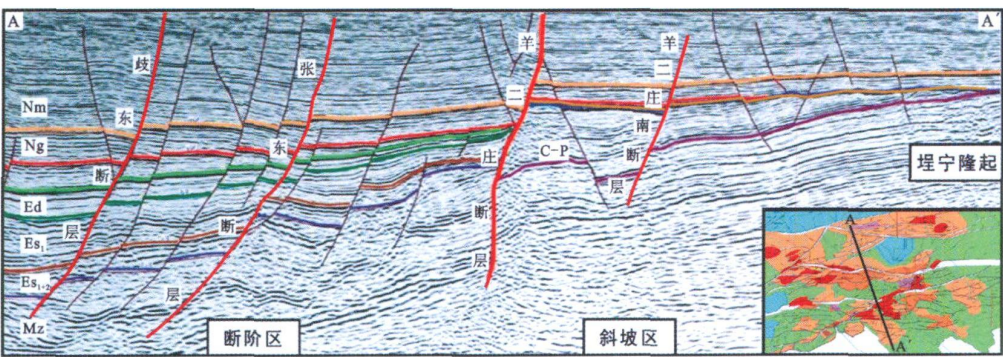


图 2 埕北断坡区南北向结构剖面图

Fig. 2 The NS structural section of Chengbei fault-ramp

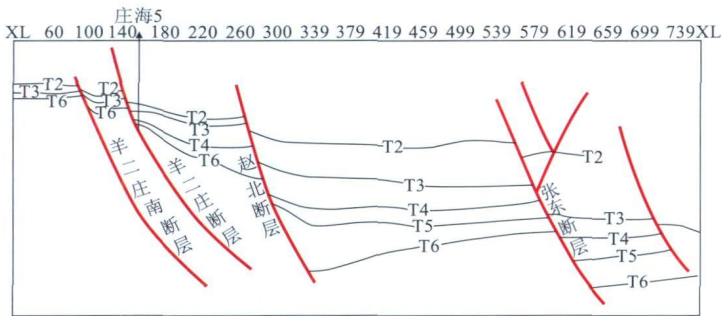


图 3 埕北断坡区 inline70 测线现今构造演化剖面图

Fig. 3 Structure evolution profile of inline 70 of Chengbei fault-ramp

3 断层对油气运移的控制作用

流体沿断层向上运移的过程是间歇性的^[5,7-8]。当断层活动时,它们通常可以作为油气的运移通道;当断层不活动时,油气沿断层的运移便受到限制。

3.1 油气分布特征

研究区内的油气来源于歧口凹陷和歧南凹陷。平面上,油气在各个区带均有分布,且主要分布于主断层两侧(图 1);纵向上,油气主要分布于新近系、沙河街组及侏罗系,由于特殊的断阶结构,以及各区带油气成藏条件的差异,导致其含油气层位存在一定的差异,张东—张东东地区油气主要分布于沙河街组和侏罗系,赵东地区油气主要分布于新近系,关家堡—埕海地区油气主要分布于沙河街组和侏罗系,南部斜坡区油气则主要分布于新近系和二叠系。研究区内发育的多条主断层均为正断层,且发育时间较长,这在客观上为油气沿断层进行斜侧向和垂向运移提供了条件。

3.2 断层活动期次分析

油气能否沿断层进行垂向和斜侧向的运移,关键在于断层的活动期与成藏期的配置关系。一般来说,在油气运移期已经停止活动的断层,特别是停止活动时间较长的断层,在多数情况下都有较好的封闭性,这时断层对油气运移起封堵作用;相反,在油气大规模运移期仍强烈活动的断层,一般来说在纵向上常常具有开启性,油气沿断裂自深部向浅部运移,在浅层适当的圈闭中聚集成藏。

对研究区断层的生长指数统计表明,本区主断层在整个第三纪均有不同程度的活动,其中 3 期活动较为强烈,分别对应于沙河街期、东营末期和明下段沉积末期—现今。将本区 3 期大规模的断层活动与成藏期进行对比分析表明(图 4),沙河街期断层活动发生在油气大规模排烃之前,对本区

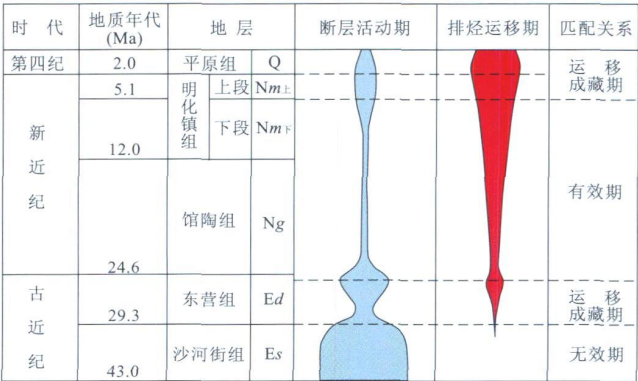


图 4 埕北断坡区断层活动期与油气成藏期配置关系

Fig. 4 The configuration between active periods of faults and hydrocarbon accumulation in Chengbei fault-ramp

油气的运聚成藏是无效的; 东营末期断层活动时, 尽管此时沙三段已进入排烃阶段, 但规模较小, 因而断层活动对油气的输导作用有限; 而明下段沉积末期开始的断层活动与主要排烃高峰期的配置关系好, 故该期是本区最有效的油气运聚成藏时期, 这有利于油气沿断层进行垂向和斜侧向运移。因此, 该时期仍处于活动的断层有可能成为油气运移的间歇性通道。

3.3 油气沿断层运移的证据

油气运移地球化学指标及区域流体势研究显示埕北断坡区的油气是同源的, 均来源于歧口凹陷(包括歧南次凹)。原油物性在纵向和横向上也显示出一定的规律性。纵向上, 随着埋藏深度的减小, 原油密度增加($0.83 \sim 0.94 \text{ g/cm}^3$)、黏度增高($6.3 \sim 175 \text{ mPa} \cdot \text{s}$), 沙河街组原油密度和黏度均小于上覆地层。平面上, 自北向南原油物性具有密度、黏度逐渐增加, 含蜡量、沥青+胶质以及含硫量、凝固点逐渐降低的特点, 如张东地区、张东东地区原油物性好于南部的赵东、关家堡地区, 位于北部的张东构造的张海6井沙河街组原油密度为 0.8418 g/cm^3 , 南部的庄海8井沙河街组原油密度高达 0.926 g/cm^3 ; 而含蜡量正好相反, 自北向南明显变低, 说明油源来自北东方向。而自(南)西向(北)东原油物性具有变差的特点, 如歧南2井沙二段原油密度为 0.8449 g/cm^3 , 向北侧的张8井沙二段原油密度升高为 0.8788 g/cm^3 , 含蜡量正好与原油密度相反, 说明油源来自南西方向。

C_{15} 正构烷烃主峰碳数则表现出相反的规律, 以歧口凹陷和歧南凹陷为中心向埕北断坡区逐渐变小, 在歧口凹陷中心为 C_{23} , 歧南凹陷为 C_{21} , 在埕北

断坡区由北向南逐渐降至 C_{15} , 与以氧化和生物降解作用为主时随运移距离增加主峰碳数增大的规律相反, 其原因是油气运移过程中的氧化和生物降解作用不如层析作用明显。

由以上分析可以看出, 研究区油气的运移是受活动断裂控制的, 在此基础上, 对油气藏进行解剖, 建立了本区油气沿断层运移的模式图(图5)。

4 断层与油气藏类型的关系

研究区内断层的存在及其活动决定了构造格架, 进一步控制了圈闭的形成、演化和分布, 同时也控制了油气的运移, 致使本区内油气藏的类型大多与断层有关。该区以与断层有关的构造油气藏为主: ①断块油气藏, 如张东构造的张海6断块、张18-1井北断块等, 张东东构造的张海7断块、张海11断块等; ②断鼻油气藏, 如张东构造的张海3断鼻、张海5断鼻等, 张东东构造的张海4断鼻、张海9断鼻等, 关家堡构造的庄海8断鼻、庄海9×2断鼻、庄海4×1断鼻等, 埕海构造的埕海6断鼻等; ③逆牵引背斜油气藏, 如赵东G1、G3井、关家堡庄海8井等; ④断背斜油气藏, 如张东构造张参1井、张海5井、关家堡构造庄海804井等; ⑤断层遮挡油气藏, 如张东构造张参1-4井、张海501井、关家堡构造庄海808×1井等。

5 有利区带预测

通过对研究区作为运移通道的断层的研究, 结合生、排烃模拟和运聚模拟结果, 对研究区进行了有利区域预测。

(1) 加强歧东断层和张东断层之间、张北断层和张东断层之间以及海4井断层和羊二庄断层之间区域的综合研究和勘探。这些区带临近油源丰富的歧口凹陷, 运聚模拟结果也显示这些区带位于油气运移的主方向上, 由主断层派生的次级断层易于形成多种与断层有关的圈闭。断层封闭性综合评价结果表明, 张东、张北断层现今处于封闭状态, 而歧东、海4井断层处于开启状态。因此, 歧口凹陷生成的油气可穿过歧东断层向南运移, 受张东断层遮挡在下降盘合适的圈闭中聚集成藏, 亦可在张东断层与张北断层之间的断块或断鼻中聚集成藏; 油气可沿海4井断层发生垂向运移, 在中浅部圈闭

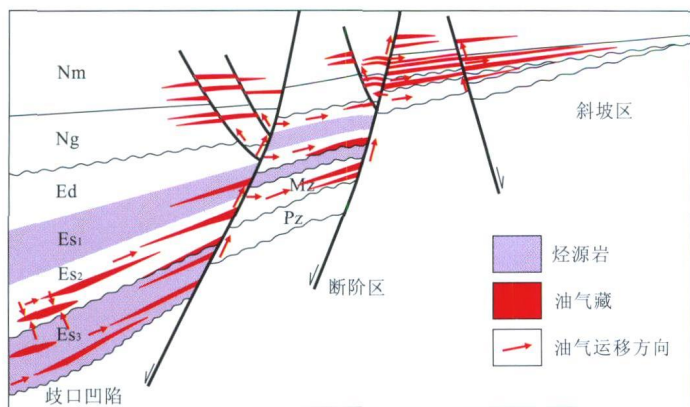


图5 埕北断坡区油气沿断层运移模式图

Fig. 5 The model of hydrocarbon migration through faults in Chengbei fault-ramp

中聚集成藏,或穿过断层在上升盘的圈闭中聚集成藏。

(2) 重视关家堡—埕海地区。本区具有歧口凹陷和歧南凹陷双向供油的特征,且沙三至馆陶期发育辫状河三角洲、冲积平原沉积以及滩坝砂体,

加上长期活动的赵北断层、羊二庄(南)作为运移通道,在该区应考虑沿油气运移方向由低到高,先断块(鼻)、再岩性逐次开展勘探。

整体上看,研究区具有油气沿断层垂向运移为主,侧向运移为辅,油气藏类型多与断层有关的特征。

参考文献:

- [1] 罗群,白新华. 断裂控烃理论与实践——断裂活动与油气聚集研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1998.
- [2] 方向,江波,张永庶. 柴达木盆地西部地区断裂构造与油气聚

集[J]. 石油与天然气地质,2006,27(1): 56-61.

- [3] England W A, Mackenzie A S, Mann D M, et al. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface[J]. Journal of Geological Society, 1987, 144: 327-347.
- [4] 郭旭升,梅廉夫,汤济广,等. 扬子地块中、新生代构造演化对海相油气成藏的制约[J]. 石油与天然气地质,2006,27(3): 295-304.
- [5] Steven Losh, Lorraine Eglinton, Martin Schoell, et al. Vertical and lateral fluid flow related to a large growth fault, South Eugene Island Block 330 Field, Offshore Louisiana[J]. AAPG Bull, 1999, 83: 244-276.
- [6] 邓广君,赵锡奎,张小兵. 塔里木盆地孔雀河地区断层研究及其控油意义[J]. 地质找矿论丛,2005,20(1): 47-52.
- [7] 付广,王朋岩,付晓飞. 塔中地区石炭系主要断层的侧向封闭性[J]. 新疆石油地质,1998,19(5): 362-365.
- [8] Hooper E C D. Fluid migration along growth fault incompacting sediments[J]. Journal of Petroleum Geology, 1991, 14: 161-180.

Control of fault on hydrocarbon accumulation in Chengbei fault-ramp

GAO Chang-hai^{1,2}, ZHA Ming²

(1. Postdoctoral Training Center, China University of Petroleum, Qingdao 266555, Shandong, China;

2. College of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Qingdao 266555, Shandong, China)

Abstract: 3-D seismic data of Chengbei fault-ramp reveals that oil and gas mainly migrated along the vertical direction of the faults, and less in the lateral direction and oil-gas migration model along faults is set up. Fault block and nose are the main traps. Then the favorable prospecting targets were predicted, such as the areas between Qidong fault and Zhangdong fault, Zhangbei fault and Zhangdong fault, Hai 4 well fault and Yangerzhuang fault as well as the Guanjiabao-Chenghai area.

Key Words: Chengbei fault-ramp; fault; hydrocarbon migration; reservoir; control effect