

黄骅拗陷歧口凹陷新生代主要断裂与油气成藏

张志攀

(中国石油大港油田公司,天津,300280)

摘要:歧口凹陷是新生代的伸展断陷盆地,研究区内主要断裂特征及发育演化对油气成藏具有显著的控制作用。在对研究区内主要断裂特征进行总结基础上,从断层对油气的输导与封堵作用 2 方面进行了论证,结果表明,研究区构造分区形成三大断裂系统,主要断裂与烃源岩、成藏期次、应力方向等多种因素匹配,控制断裂对油气的输导与封堵过程状态,最终形成了三大断裂系统典型的油气成藏模式。

关键词:歧口凹陷;断裂封闭性;油气成藏

中图分类号:TE122.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-1926(2014)05-0679-06

引用格式:Zhang Zhipan. The relationship between main faults & hydrocarbon accumulation in Cenozoic Qikou Sag of Huanghua Depression[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(5): 679-684. [张志攀. 黄骅拗陷歧口凹陷新生代主要断裂与油气成藏[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(5): 679-684.]

0 引言

歧口凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷中东部,隶属于中国东部渤海湾巨型盆地,属于古近纪以来形成的新生代陆内伸展盆地,呈 NE 走向,以伸展构造为主^[1-2]。新生代盆地演化经历了古近纪的断陷阶段和新近纪—第四纪的拗陷阶段,经历了 4 期断裂活动^[3]。

歧口凹陷新生代断裂活动贯穿盆地形成过程的始终,控制了盆地发育演化、沉积充填、油气运聚与成藏。断层特征、构造样式、活动演化及与生烃史匹配关系是控制盆地圈闭形成与破坏、油气运聚、成藏保存的关键。因此,深入研究歧口凹陷新生代断裂特征及其对油气成藏的控制作用,对于研究区的油气勘探及目标评价研究工作具有非常重要的现实意义。

1 歧口凹陷主要断裂特征

歧口凹陷新生代断裂构造分区特征十分明显,沿 NW—SE 走向的海河断裂带和近 NS 走向的沿岸断裂带,将歧口凹陷划分为三大断裂系统,各断裂

系统断裂特征及发育演化明显不同。

沿岸带以西块体,主要断裂走向 NE、向 S 倾斜,断层活动开始时间早、同沉积发育且长期活动,控坡断层与地层倾向相反,表现为多米诺式旋转掀斜半地堑半地垒系统,主干断裂活动诱发一系列同向或反向调节断层,形成剖面上的铲式扇、复“Y”字型结构样式。沿岸带以东块体,主要断裂走向为 NEE—近 EW 向、断面向 N 倾斜,主干断裂倾向与 2 地层整体倾斜方向相同,形成向斜坡倾斜方向的逐级下降的断裂台阶。海河断裂带以北块体,发育 NE、NW 2 组主要走向断裂,NE 走向断裂 S 倾断裂主导了该区块的构造格局及发育演化,沙一段沉积时期前该块体内断裂活动弱,地层整体向 N 倾斜,沙一段沉积期开始断裂活动加剧,块体内地层倾向发生反转,形成断裂与地层倾向相同的断阶样式。

2 歧口凹陷主要断裂的开启与封堵

断层对成藏的作用具有通道或封堵的双重性:一方面断裂活动可以形成多种类型圈闭条件,是沟通深部源岩与浅部储层的重要通道;另一方面断裂

活动使构造复杂、圈闭破坏、油气散失。歧口凹陷断层油气藏占有非常重要的地位,深入研究断裂对油气的输导与封堵作用,是了解该地区油气分布规律的关键。

由油气垂向运移的“泵吸原理”^[4]可知,在油气生排烃期活动的断层,在纵向上常常具开启性,油气可沿断裂自深层向浅层运移,在浅层圈闭中形成油

气藏,而在油气生排烃期已停止活动的断层,特别是停止活动时间较长的断层,由于矿物质的充填和胶结,通常都有较强的封闭性,垂向输导能力较差。

歧口凹陷的主要源岩层系为沙三段、沙一段和东三段,以沙河街组源岩生烃为主。如图1所示,研究区内主要二级断层除羊二庄、赵北和扣村断层外,其他断裂均断至沙三段,与一套或多套有效烃源岩

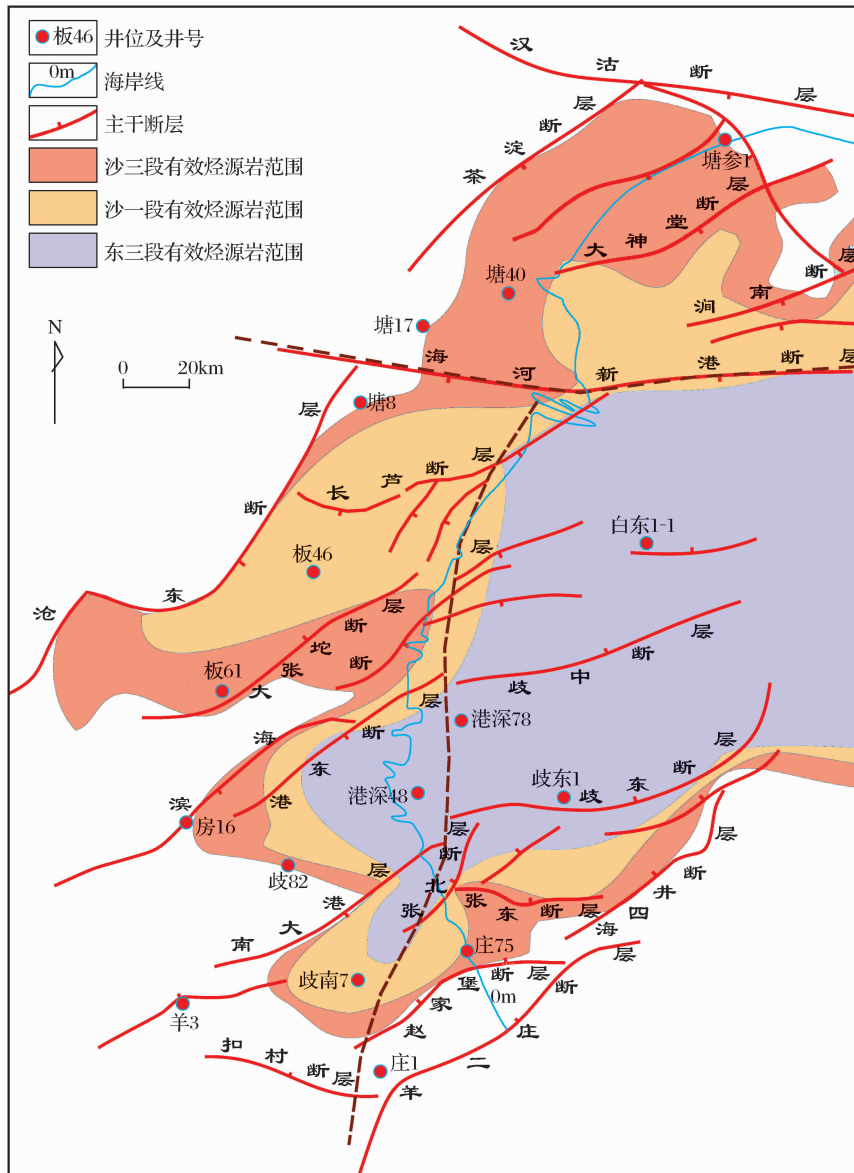


图1 歧口凹陷主要断裂与有效烃源岩关系

Fig. 1 Relationship between main faults and effective source rock in Qikou Sag

系相连,断层活动时期均可作为连接油源断层。油气成藏史^[5]及断裂活动性分析结果(图2)表明,第一个生排烃期,几乎全部的二级断层的活动性均较强,此时主要的烃源岩系为沙三段,油气有条件通过断层向上运移进入沙二段、沙一段和东营组,但是由

于断层的活动性较强,这个时期油气的聚集条件是不利的;第二个生排烃期,研究区断层的活动性总体减弱,但滨海、港东、歧中、南大港、张北、张东和歧东断层活动性相对较强,尤其是在明化镇期,此时沙一段也进入主要生排烃期,这些断层对主要生排烃区

油气的纵向运移起枢纽作用,整体较弱的断层活动为油气的聚集和保存提供了有利条件,使得这个时

期成为了研究区主要的成藏期,控制了油气的空间分布(图2)。

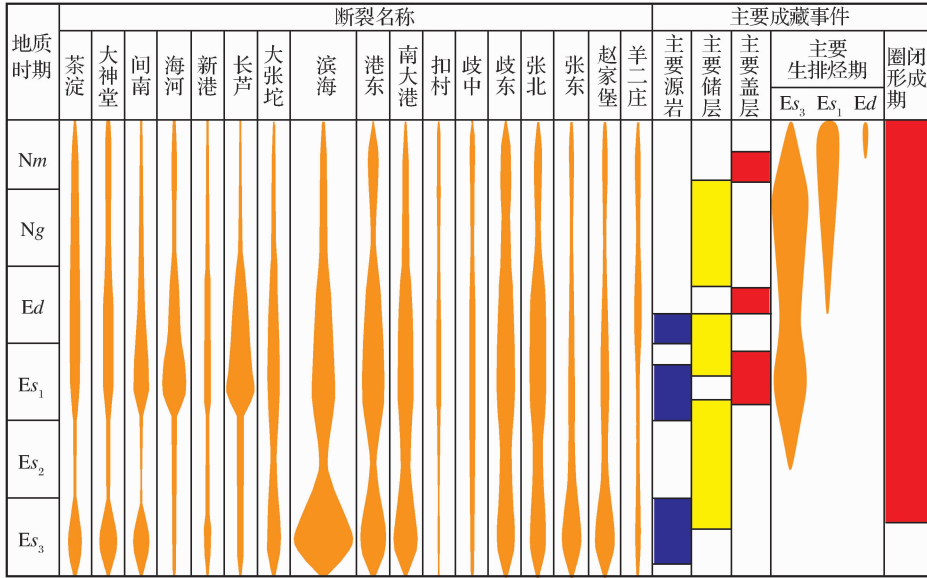


图2 歧口凹陷断裂活动与油气成藏事件匹配关系

Fig. 2 Matching relation between faulting and hydrocarbon reservoir forming in Qikou Sag

断裂的侧向封闭是断层及断层复合油气藏成藏不可缺少的条件,断裂能否对油气起到良好的封闭作用,主要取决于区域应力场特征,断裂性质、展布、活动,断裂两侧岩性及产状配置等因素^[6]。前人^[7-8]研究表明,歧口地区主压应力方向 Ed 期 SE102°、Nm 期 SE178°,沙一段—东营组沉积期歧口凹陷处于拉张应力状态,有利于沙三段、沙一段已成熟油气的排出、运移和聚集;馆陶期—明化期受区域压应力场作用^[9],歧口凹陷断裂对油气的封闭作用较好,有利于油气的聚集成藏。

采用模糊定量统计方法^[10],对歧口凹陷主要继承性活动断裂,根据不同时期其与主压应力方向间的夹角换算出了封闭系数^[7](表1)。可以看出,东营末期除张北断层外其他断层的封闭系数均≤4,断层封闭系数平均值为3,封闭能力较差;明化镇末期,仅张北断层封闭系数为3,封闭能力较差,其他断层封闭系数为4~6,平均值为5,比东营期封闭性

明显要好,有效控制了歧口凹陷油气成藏。从各个断层的平均封闭系数来看,近EW向断层的封闭能力较NE向断层封闭能力差,因此油气的聚集程度也较差。主应力封闭机制是指断面在上覆岩层重力或区域构造主应力作用下发生紧闭,断面压力越大,断面紧闭程度越高,断层封闭性越好。对研究区主要断层采用理想化的参数计算断层断面正应力^[11],分别取地层密度为2.2g/cm²和2.3g/cm²计算了在地层压力达到5MPa^[12]时的深度(表2),来评价断层在纵向上的封闭特性。由表2中可以看到断面正应力达到5MPa的深度小于1000m,大于此深度时泥岩发生塑性变形而流动,堵塞断裂紧闭后遗留下来的孔隙,使断裂封闭。

断层面与岩层产状相反时,断块稳定性好,断面两侧块体接触紧密,断面摩擦力增强,断层封闭性较好;同向正断层块体的稳定性比较差,油气容易沿断面往储集层上倾方向运移,断层封闭程度较弱。断

表1 歧口凹陷主要断裂封闭系数测算

Table 1 Main fault close index in Qikou Sag

断层名称	茶淀	大神堂	回南	海河	新港	大张坨	滨海	港东	南大港	歧中	歧东	张北	张东	海4井	赵北	扣村	羊二庄	平均值
简化走向/°	55	50	60	90	76	55	50	55	50	70	95	35	100	50	60	97	50	
封闭系数 Ed	4	4	3	1	2	4	4	4	4	3	1	5	1	4	3	1	4	3
封闭系数 Nm	4	4	5	6	6	4	4	4	4	5	6	3	6	4	5	6	4	5
平均值	4	4	4	3.5	4	4	4	4	4	4	3.5	4	3.5	4	4	3.5	4	

裂带内部结构的不对称性可能是造成反向遮挡要强于顺向遮挡的最主要原因^[13],同向正断层多为顺向,遮挡封闭性差;反向正断层多为反向,遮挡封闭性好。歧口凹陷海岸线以东块体内主断裂多为同向正断层,封闭性较差,为油气向下盘地层运移提供了可能性,海岸线以西块体内主断裂多位反向断层,封闭性较好,为油气在断层附近成藏创造了条件。

表 2 歧口凹陷主要断层断面正压力封闭深度

Table 2 Fracture plane normal pressure close depth of main faults in Qikou Sag

断层名称	断层性质	简化倾角/ $^{\circ}$	封闭深度 1/m	封闭深度 2/m
茶淀断层	正	45	607	630
涧南	正	60	722	778
海河—新港断层	正、走滑	48	625	653
大张坨—板桥断层	正	61	732	792
港西断层	正	40	582	599
港东断层	正	60	722	778
歧东断层	正	70	847	953
南大港断层	正	46	613	637
张北断层	正	67	804	890
张东断层	正	47	619	645
赵北断层	正	65	778	854
羊二庄断层	正	55	676	717
海 4 井断层	正	60	722	778
黄骅断层	正、走滑	58	703	752

3 歧口凹陷油气成藏模式

断层是形成油气圈闭的重要因素,是油气输导的重要路径,断层、地层及烃源岩三者的配置关系决定油气成藏特征及模式。歧口凹陷构造分区控制了研究区断层、地层及烃源岩三者配置关系分区。沿岸带以西块体,主干断层与地层倾向相反、断层与烃

源岩匹配关系最好,形成典型的反向掀斜—垂向输导—构造成藏模式;沿岸带以东块体,主干断层与地层倾向相同、断层从低部位向高部位与烃源岩配置渐差,形成典型的同向断阶—阶梯输导—复合成藏模式;海河以北断块,受沙一段沉积前后的构造反转控制,断层、地层配置表现为反向、同向 2 种叠加,形成构造反转—断裂疏导—反向运移成藏模式。

反向掀斜—垂向输导—构造成藏模式(图 3),该类模式的主要控制因素为发育于生油凹陷内的反向断层,断层活动强度大、同沉积发育、诱发一系列次级调节断层,形成剖面上的楔形半地堑—半地垒组合,受断层控制形成各类构造圈闭,油源断裂是生烃期油气垂向运移的枢纽通道,直接将油气输送至烃源岩的上覆储层圈闭中成藏。由于断裂的长期活动及不同层系烃源岩的接替长期生烃,使得油气几乎可以进生烃层系之上的所有圈闭中,从而形成纵向相互叠置、平面上含油连片的,以各类构造油气藏最为发育的典型模式。歧口凹陷沿岸带以西块体新生代各层系及海河以北块体沙三段的油气成藏即表现为该种典型模式为主。

同向断阶—阶梯输导—复合成藏模式(图 4),该模式主要受与地层倾向相同的同沉积正断层控制,剖面上形成由凹陷向隆起阶上升的断阶斜坡构造,由于较高部位有效烃源岩分布影响,烃源岩与浅层圈闭之间仅在低部位以主干断层直接沟通为主,断阶区大部分则是受由油源断层、次级断层、储层发育段构成的阶梯形复式输导体系控制,油气在纵向和横向上逐级发生较大距离的运移,运移过程中遇到合适的构造、岩性、不整合等各类圈闭均可聚集成藏,从构造低部位到构造高部位均可成藏造成纵向上含油层系叠合,横向上连片。受断层与地层倾向相同控制,断层活动期油气主要沿断层纵向运移到更浅

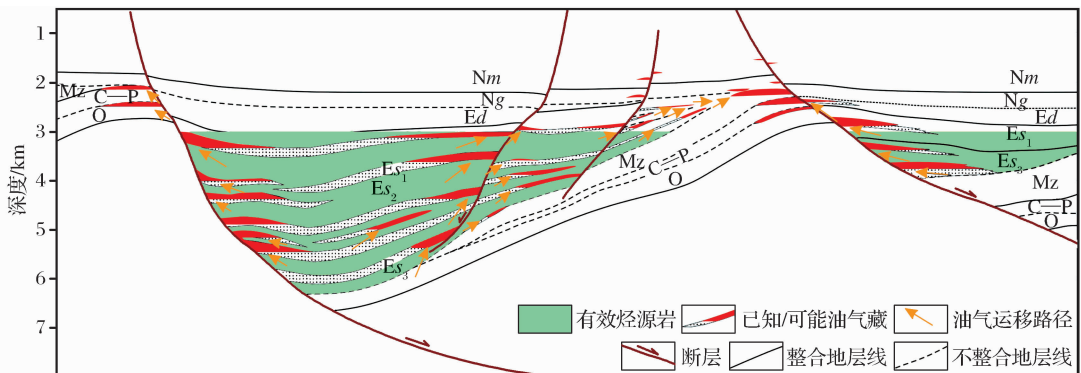


图 3 反向掀斜—垂向输导—构造成藏模式

Fig. 3 Tilt reverse-vertical transport-structural reservoir formation model

的层系,在断层相对稳定期,靠横向运移在更深的层位成藏,由于断层的多期次活动,纵向和横向运移交替进行,最终形成了多层系叠合、大面积连片的立体成藏特征。歧口凹陷沿岸带以东块体结构特征表现为典型的断裂台阶,油气成藏模式以该种模式为主。

构造反转—断裂输导—反向运移成藏模式(图5),北塘地区沙三段沉积时期发育活动强度大、同沉积反向断层,形成剖面上的楔形半地堑—半地垒组合,之后发生构造反转抬升普遍遭受剥蚀;在沙一段沉积期,沉积、沉降中心发生变化,受同向、同沉积正

断层控制,形成断阶斜坡构造。受构造反转作用影响烃源岩生烃期相对较晚,东营组沉积时期烃源岩才进入低成熟生烃阶段^[14],因此构造反转后活动的油源断层成为控制该区油气分布的主要控制因素。构造反转前后烃源岩地层的倾向不同,使得成熟油气在不同烃源岩层中的沿运移方向不同。烃源岩运移过程中遇到合适的构造、岩性、不整合等各类圈闭均可聚集成藏,受主要油源断层走向控制,油气藏表现为纵向上含油层系叠合,平面上沿主要控制断层带状展布。

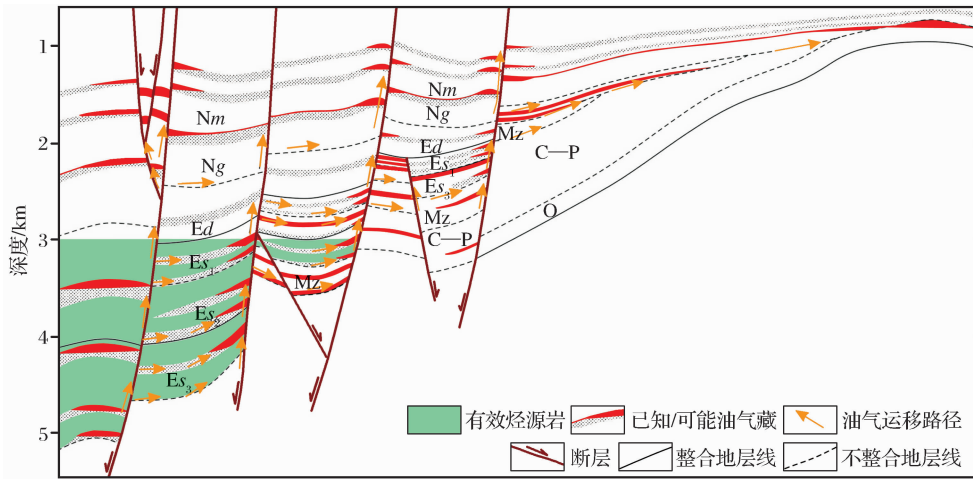


图4 同向断阶—阶梯输导—复合成藏模式

Fig. 4 Co-rotate fault terrace-stepped transport-composed reservoir formation model

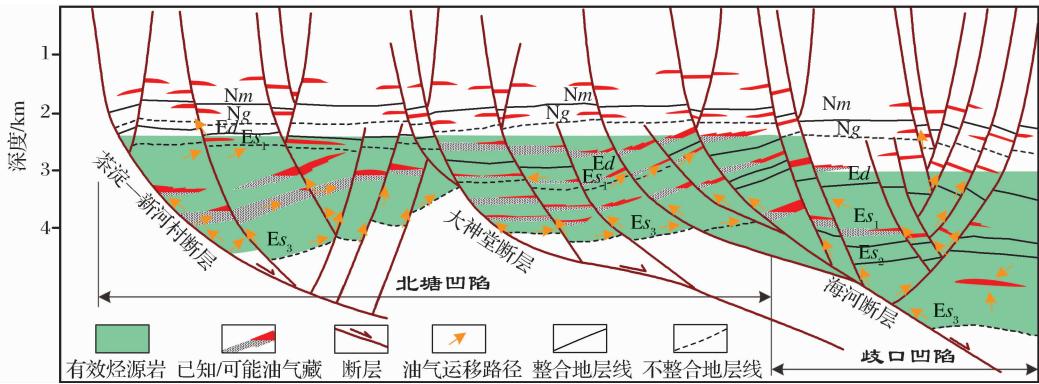


图5 构造反转—断裂疏导—反向运移成藏模式

Fig. 5 Tectonic inversion-faulted transport-diverse migration reservoir formation model

4 结论

(1)歧口凹陷新生代三大断裂系统主要断裂均切割至生油岩系,断层活动期可作为油源断裂输导油气。

(2)断裂特征、活动期次,油气成藏期次及应力场特征等各方面的断层封闭性评价表明,第二成藏

期各要素匹配关系较好,对歧口凹陷油气藏的形成及保存起了关键作用。

(3)断裂控制了歧口凹陷新生代油气成藏,分别形成了沿岸带以西的反向掀斜—垂向输导构造成藏模式、沿岸带以东同向断阶—阶梯输导复合成藏模式及海河断裂以北的构造反转—断裂输导—反向运移油气成藏模式。

参考文献(References):

- [1] Shi Shuangshuang. Formation and Evolution for the Main Fault Systems and Their Implication to Petroleum Geology in Qikou Depression[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2009: 11-14. [史双双. 歧口凹陷主断裂系统形成演化及油气地质意义[D]. 武汉: 中国地质大学, 2009: 11-14.]
- [2] Qu Fang, Chen Qinghua, Lian Chengbo, *et al.* Faulted structure systems of Huanghua Depression in Cenozoic Era [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2006, 13(5): 7-10. [渠芳, 陈清华, 连承波, 等. 黄骅拗陷新生代断裂构造系统研究[J]. *油气地质与采收率*, 2006, 13(5): 7-10.]
- [3] Zhou Lihong, Lu Yi, Xiao Dunqing, *et al.* Basin texture structure of Qikou Sag in Bohai Bay Basin and its evolution [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2011, 22(3): 373-382. [周立宏, 卢异, 肖敦清, 等. 渤海湾盆地歧口凹陷盆地结构构造及演化[J]. *天然气地球科学*, 2011, 22(3): 373-382.]
- [4] Du Chunguo, Hao Fang, Zou Huayao, *et al.* Progress and problems of faults conduit systems for hydrocarbon migration [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2007, 26(1): 51-56. [杜春国, 郝芳, 邹华耀, 等. 断裂输导体系研究现状及存在的问题[J]. *地质科技情报*, 2007, 26(1): 51-56.]
- [5] Zhang Jie, Qiu Nansheng, Wang Xin, *et al.* Thermal evolution and reservoiring history in Qikou Sag, Huanghua Depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(4): 505-511. [张杰, 邱楠生, 王昕, 等. 黄骅拗陷歧口凹陷热史和油气成藏史[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(4): 505-511.]
- [6] Wan Tianfeng. *Paleo Structural Stress Field*[M]. Beijing: Geology Publishing House, 1988: 1-156. [万天丰. *古构造应力场*[M]. 北京: 地质出版社, 1988: 1-156.]
- [7] Yang Yufeng, Shi Zhanzhen, Wang Mingming, *et al.* Relationship between stress field and natural gas enrichment in central Huanghua Depression[J]. *Oil & Gas Geology*, 1996, 17(3): 191-193. [杨玉凤, 史占祯, 王明明, 等. 黄骅拗陷中区应力场及天然气富集的关系[J]. *石油与天然气地质*, 1996, 17(3): 191-193.]
- [8] Wan Tianfeng, Wang Mingming, Yin Xiulan, *et al.* Sealing properties of different direction faults in the Bohai Bay area [J]. *Geoscience*, 2004, 18(2): 157-163. [万天丰, 王明明, 殷秀兰, 等. 渤海湾地区不同方向断裂带的封闭性[J]. *现代地质*, 2004, 18(2): 157-163.]
- [9] Wang Wenge, Zhang Zhipan, Lu Yi, *et al.* Characteristics and its role in basin controlling of strike-slip faults in Cenozoic Qikou Sag Huanghua Depression [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2012, 23(4): 713-719. [王文革, 张志攀, 卢异, 等. 黄骅拗陷歧口凹陷新生代走滑断裂特征及控盆作用[J]. *天然气地球科学*, 2012, 23(4): 713-719.]
- [10] Dai Junsheng, Li Li. *Oil-field Structure Analysis*[M]. Dongying: Petroleum University Press, 2002: 106-130. [戴俊生, 李理. *油区构造分析*[M]. 东营: 石油大学出版社, 2002: 106-130.]
- [11] Fu Guang, Liu Hongxia, Duan Haifeng. Seal mechanisms of different transporting passways of fault and their research methods[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2005, 27(4): 404-418. [付广, 刘红霞, 段海风. 断层不同输导通道封闭机理及其研究方法[J]. *石油实验地质*, 2005, 27(4): 404-418.]
- [12] Peng Xiumei. Rock mechanics experiment research on the burial depth & thickness of the regional seal[M]//Shi Baoheng, Fang Kun, Guan Defan, *et al.* *Yangzi Marine Geology and Oil and Gas*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993: 262-269. [彭秀美. 用岩石力学实验研究区域盖层的埋深和厚度标值[M]//石宝珩, 周堃, 关德范, 等. *扬子海相地质与油气*. 北京: 石油工业出版社, 1993: 262-269.]
- [13] Wu Zhiping, Chen Wei, Xue Yan, *et al.* Structural characteristics of faulting zone and its ability in transporting and sealing oil and gas [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84(4): 570-578. [吴智平, 陈伟, 薛雁, 等. 断裂带的结构特征及其对油气的输导和封堵性[J]. *地质学报*, 2010, 84(4): 570-578.]
- [14] Deng Rongjing, Chai Gongquan, Yang Hua, *et al.* Tertiary oil gas reservoir formed condition and its distribution in Beitang Sag[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2001, 28(1): 27-29. [邓荣敬, 柴公权, 杨桦, 等. 北塘凹陷第三系油气藏形成条件与油气分布[J]. *石油勘探与开发*, 2001, 28(1): 27-29.]

The Relationship between Main Faults & Hydrocarbon Accumulation in Cenozoic Qikou Sag of Huanghua Depression

ZHANG Zhi-pan

(Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin 300280, China)

Abstract: The Cenozoic Qikou Sag is a typical extensional faulted basin. The faults' character and its evolution played a key role in hydrocarbon accumulation. In this article we summarized the main characteristics of the faults, and demonstrated the role played by the faults on hydrocarbon conduction and seal process. We divided the Cenozoic faults into three fracture systems, and found that the faults characteristics, the structure style, the tectonic stress state coupling with hydrocarbon reservoir formation stages controlled the conducting or sealing state of the faults to the reservoir and finally formed three typical hydrocarbon reservoir formation modes.

Key words: Qikou Sag; Fault closer; Hydrocarbon reservoir