

文章编号: 0253-9985(2009)04-0469-07

环渤中地区新构造运动期断裂活动与油气成藏关系

周心怀¹, 牛成民¹, 滕长宇²

[1 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452]

2 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249]

摘要: 环渤中地区是渤海海域重要的含油气区, 断裂发育, 新构造运动期断裂活动对油气的输导与保存具有重要意义。运用断裂活动速率法, 通过分析主干断裂沿其走向活动性的变化以及区带内不同活动速率断裂的搭配, 综合研究了环渤中地区断裂的活动性与油气聚集保存之间的关系, 并从溢出点的位置、断裂输导与保存活动速率的界定、断距与区域性盖层厚度关系对其控藏机制进行了讨论。研究表明, 环渤中地区新近系油气藏主要分布在中等或微弱活动断裂附近(活动速率小于 25 m/Ma); 而强烈活动断裂(活动速率大于 25 m/Ma)主要起垂向导作用, 难以形成浅层的油气聚集, 只有在其活动相对微弱的部位才可以使油气聚集成藏。

关键词: 新构造运动; 断层活动速率; 油气成藏; 环渤中地区; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.1 文献标识码: A

Relationship between faulting and hydrocarbon pooling during the Neotectonic movement around the central Bohai Bay

Zhou Xinhua¹, Niu Chengmin¹, Teng Changyu²

(1 CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452, China; 2 State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract The area around central Bohai Bay is an important prolific zone where faults are well developed and faulting during the neotectonic movement played a significant role in migration and preservation of hydrocarbons. The fault activity rate (FAR) method was used to study the relationship between faulting activity and hydrocarbon accumulation/preservation in the area based on analysis of activity changes along the strike of main fault and combinations of faults with different FAR within the zone. In addition, the controlling mechanisms of hydrocarbon accumulation were also discussed in respects of the locations of spill points, the definition of fault carrier systems and FAR, and the relationship between fault throw and thickness of regional caprock. The results indicate that hydrocarbon accumulations in the area are mainly located near faults with moderate or weak activities ($FAR < 25 \text{ m/Ma}$), while they seldom occur near faults with strong activities ($FAR > 25 \text{ m/Ma}$) because these faults served mainly as vertical migration pathways making it hard to form shallow oil accumulations. For these faults, only in areas with relatively weak fault activities can hydrocarbon accumulation occur.

Key words Neotectonics; fault activity rate; hydrocarbon accumulation; area around the central Bohai Bay; Bohai Bay Basin

环渤中地区古近系发育 3 套优质烃源岩, 即古近系沙(河街组)三段、沙(河街组)二段、沙(河街组)一段和东营组下段^[1]。目前勘探表明, 环渤中地区几乎所有大中型油气田的主力产层都位于

凸起带或近源低凸起的新近系储层, 如 PL19-3、BZ26-2 等。而凹陷内部油气田的勘探难度较大, 目前所获产量也相对较低。由于烃源岩与储集层的空间配置关系以及新构造运动形成了大量

收稿日期: 2009-05-05。

第一作者简介: 周心怀(1970—), 男, 高级工程师, 石油地质综合研究。

基金项目: 中海石油(中国)有限公司项目(SC06TJ-TQL-004)。

的新近系圈闭^[2],且前人根据圈闭的发育认为该区油气成藏模式为晚期快速成藏^[3],因此环渤中地区晚期发育的断层及继承性断层对油气运聚和保存具有十分重要的作用。对于断层与油气运聚和保存之间的关系,国内外很多学者都进行过多方面的讨论。吕延防等通过对断裂充填物的排替压力的研究提出了定量评价断层垂向封闭性的方法^[4];刘泽荣等通过科研实践首次提出有效封闭断距、有效封闭泥岩厚度和有效封闭泥岩沾污因子的概念^[5];张立宽等提出运用断层连通概率的方法对断层的封闭性进行定量的评价^[6];Weber等对生长断层的泥岩涂抹现象进行了细致地研究^[7];Allan于1989年提出了“断面剖面图”,首次采用定量的方式研究断层的封闭性^[8];Lindsay等将泥岩涂抹带的连续性与断层的断距和泥岩厚度联系起来,提出“泥岩涂抹因子”概念^[9];Peter等通过整理大量的断层资料,提出了利用SGR值估算断层可支持油气柱最大高度的方法^[10]。然而,前人主要是针对断层对油气的侧向遮挡做了大量细致的研究,垂向上也仅限于静态上构造要素的

研究,又因为断裂活动是否会影响其输导能力,在断裂静止期间,对沿断层面的流体活动往往具有封闭性质或较弱的流体输导能力,而在断裂活动期间其流体输导能力明显增强^[11]。因此,本文则主要通过研究断裂的活动性,综合分析环渤中地区断层与油气聚集保存之间的关系,从而得出控制油气聚集的关键因素,为与断层有关圈闭的勘探和开发提供一个新思路。

1 区域构造特征

环渤中地区位于渤海湾盆地的东部海域部分,以渤中凹陷为中心,凸起与凹陷环绕相间分布(图1)。渤中凹陷北部,包括郯庐断裂西侧的石臼坨凸起、秦南凹陷等,其构造线由该区北部辽东湾地区的NNE向NE再到NEE过渡,由于受NE和EW向构造以及郯庐断裂带左旋扭动的影响,形成向南东方向凸出的弧形构造;在南部由于受郯庐断裂左旋走滑及鲁西的影响,使各构造单元由NW向SE方向收敛,构成渤南帚状构造^[12]。

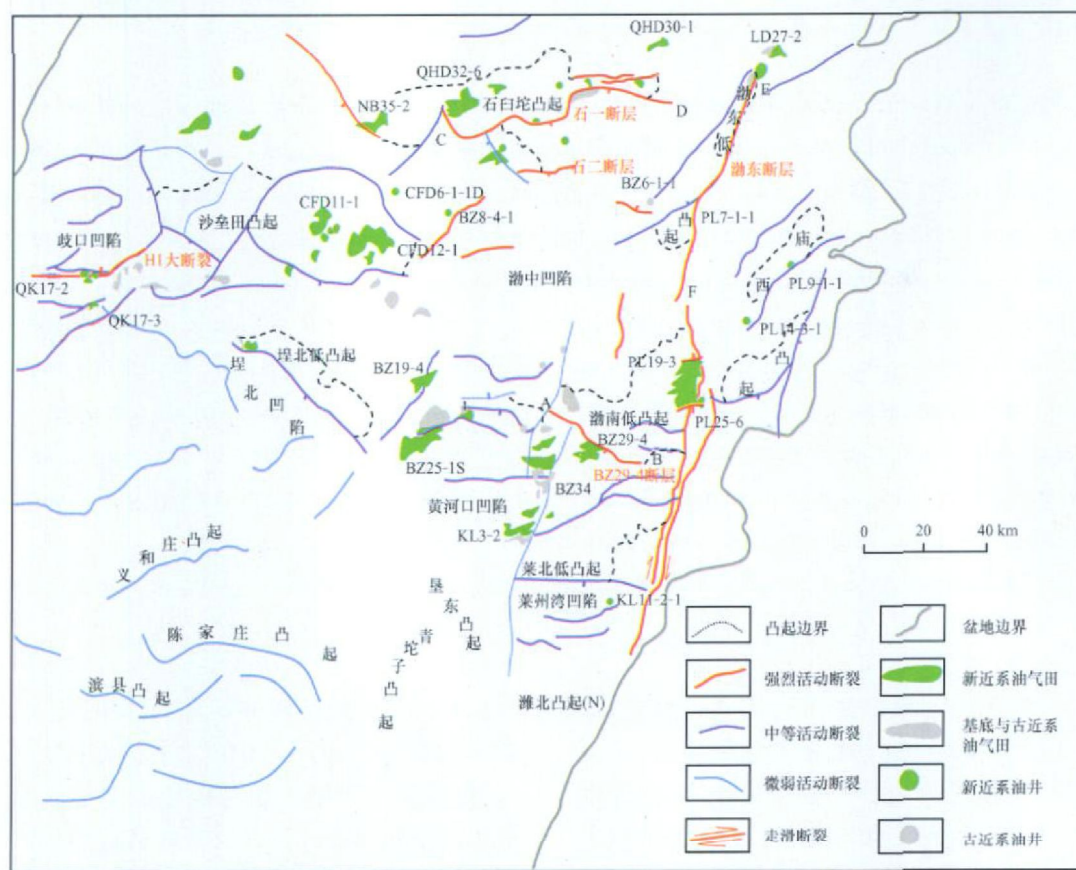


图 1 环渤中地区晚期断裂活动强度与新近系油气藏分布

Fig. 1 Intensity of late faulting and distribution of the Neogene hydrocarbon accumulations in the areas around the central Bohai Bay

郯庐断裂的多期走滑活动, 影响和控制着该区的油气成藏^[13]。研究表明, 郯庐断裂的走滑作用使得其两侧形成局部拉张的应力环境, 结合各局部构造背景的影响, 该区主要发育图 1 所示的具正断层性质的通源断裂(带), 它们活动强弱的差异对区域油气的输导与保存起到至关重要的作用。

2 断裂活动性与油气成藏

目前用来描述断裂活动性的方法主要有断层生长指数法、断层落差法和断裂活动速率法。由于断层生长指数法要求凹陷内不同部位、各时代的沉积速率一致, 断层上下盘没有大的沉积间断; 断层落差法又没有考虑时间的概念^[14~17], 而利用断裂活动速率法对断裂的活动性进行分析, 恰好弥补了它们的缺陷与不足, 能够更好的反映断裂的活动特点。因此本文则采用断裂活动速率的方法来分析断裂的活动特征。断层活动速率是指某一地层单元在一定时期内, 因断裂活动形成的落差与相应沉积时间的比值, 即:

$$V_f = \frac{\Delta H}{T} = \frac{(H_u - H_d)}{T} \quad (1)$$

式中: V_f ——断裂活动速率, m Ma^{-1}

T ——沉积时间, Ma

H_d ——断层下降盘地层厚度, m ;

H_u ——断层上升盘地层厚度, m 。

由于控盆断层的形态演化存在阶段性, 活动强度具有迁移性^[18], 因此断层的活动对油气的聚集与保存, 只有在油气的充注时期或之后才有意义。烃源岩的生烃史及油气的充注史研究表明, 渤中地区烃源岩在新近纪以来才大规模生排烃并随即开始了油气的充注, 并且本文主要通过对处于油气充注期的新构造运动期(5.1 Ma 以来)断裂活动的差异性研究, 来讨论断裂的活动与油气成藏之间的关系。

2.1 断裂宏观分布特点

环渤中地区晚期断裂十分发育(图 1), 经研究主要可分为 3 个层次, 即: 强烈活动断裂(活动速率大于 25 m Ma^{-1}), 中等活动断裂(活动速率为 $5 \sim 25 \text{ m Ma}^{-1}$), 微弱活动断裂(活动速率小于 5 m Ma^{-1})。从图 1 可以看出环渤中地区新近系的

油气藏主要分布在晚期中等或微弱活动断裂附近, 而强烈活动断裂主要起垂向上的输导作用, 不利于油气的聚集和保存。

2.2 断裂活动速率与油气输导和保存

2.2.1 BZ29-4 断层

黄河口凹陷 BZ29-4 油气田附近(图 1)发育着一条控盆 I 级断层(简称 BZ29-4 断层), 呈 NW-SE 向展布, 是该区的主干断裂。BZ29-4 断层沿其走向活动速率变化非常显著(图 2a), 在其两端活动速率很高, 局部甚至大于 50 m Ma^{-1} 对油气主要起到垂向上的输导作用; 而在其中间部位活动速率极其微弱, 接近于 0 从而使得油气在 BZ29-4 构造聚集成藏。

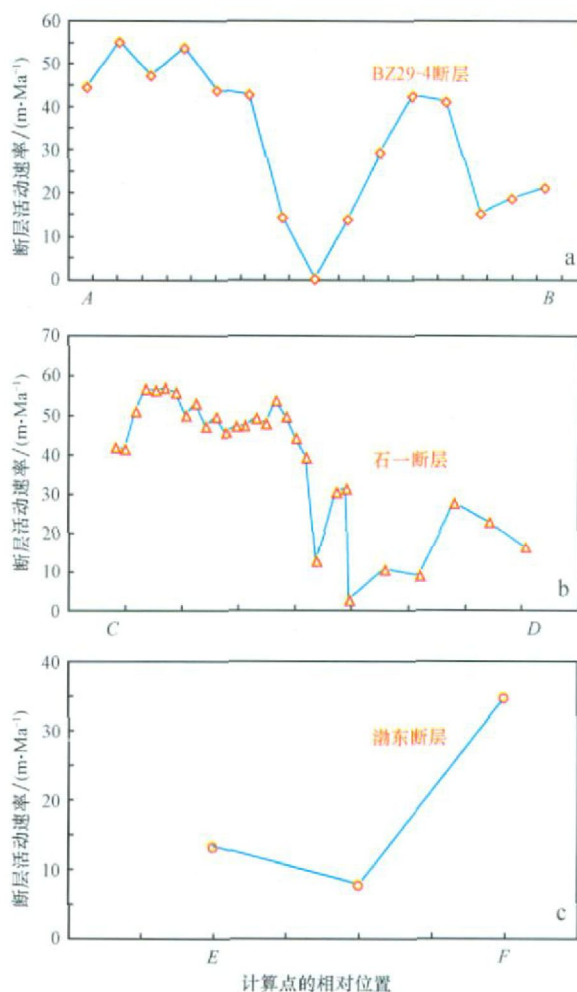


图 2 主干断裂沿其走向晚期活动速率变化对比

Fig. 2 Comparison of late fault activity rates along the strike of main faults

2.2.2 石一断层

位于石臼坨凸起南部斜坡带(简称石南斜坡带,图 1)的石臼坨一号断层(简称石一断层)是控盆 I 级断裂,也是该区的一条主干断裂,该断裂为近 EW 走向,与源岩具有良好的配置关系。

石一断层沿走向晚期的活动速率呈西高东低的趋势(图 2b),西部最大值可达近 60 m Ma 中部活动速率最低(小于 5 m Ma)。正是由于它在西部的强烈活动,使得油气在其西部发生垂向运移而没有形成大规模的油气聚集;也正是由于它在中部不同部位活动速率的差异性使得油气只在其中部活动速率相对较低的部位发生了聚集。

2.2.3 渤东断层

渤东断层位于渤东 3 个构造的东侧(图 1),也是该区的主干断裂, NW - SE 走向,同样与源岩具有良好的配置关系。沿其走向晚期的活动速率为北低南高(图 2c),北部活动速率较低(小于 15 m Ma);而南部的活动速率相对较高达到 35 m Ma 左右。因此在其北部形成了油气聚集,而南部却导致了古油气藏的破坏。

通过对 BZ29-4 断层、石一断层、渤东断层 3 条断裂沿其走向活动速率与油气聚集和保存的研究,可以看出主干断裂往往控制着凹陷的发育,活动性总体都很强,对油气主要起到了垂向上的输导作用,一般不利于油气的保存;而在其微弱活动的部位活动速率都较低,从而使得油气得以很好的聚集和保存。

2.3 有效断裂组合构成油气输导保存体系

2.3.1 石南斜坡带

石南斜坡带主要发育两条主干断裂(图 3),其中,石一断层是控盆 I 级断裂,石臼坨二号断层(简称石二断层)是控盆 II 级断裂,它们都是该区的主干断裂,所研究的 F1 和 F2 断层则为主干断裂活动所形成具有调节性质的次级断裂。主次断裂都为近东西走向,具有良好的配置关系。

石一断层沿走向晚期的活动速率都很高,几乎都大于 30 m Ma 中部最大值可达近 60 m Ma 石二断层沿走向晚期的活动速率变化比较显著,呈现出两端低中间高的趋势,中间高值可达 70 m Ma

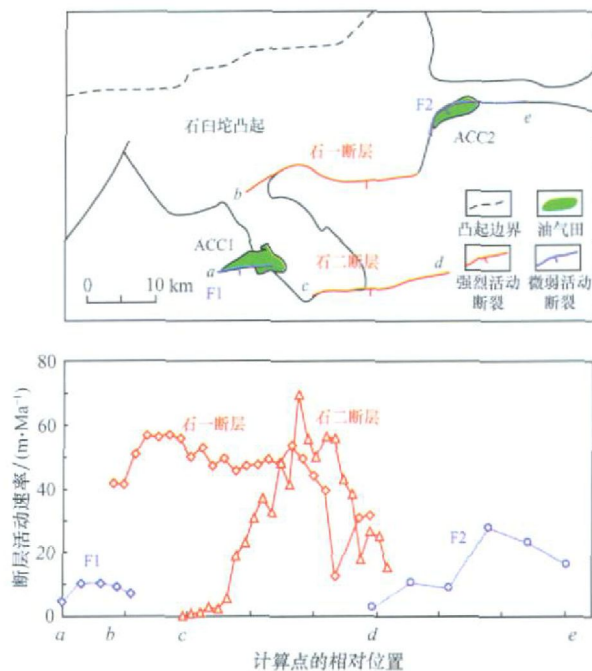


图 3 石南斜坡主要断层的展布及其晚期活动速率对比
Fig. 3 Distribution of the main faults and their late fault activity rates in the southern slope of the Shijituo Uplift

左右,而两端低值则接近于 0。正是由于它们的强烈活动而使得在这两条断层附近油气发生散失而没有形成大规模的油气聚集,主要起到垂向上的输导作用。F1 断层的活动速率较低,基本上小于 15 m Ma 从而在 ACC1 处形成了油气的聚集; F2 断层沿走向活动强度差异比较明显,东端活动速率较高,最大值超过 25 m Ma 而西端的活动速率较低,一般小于 15 m Ma 从而使得油气在其西端的 ACC2 处发生了聚集。

2.3.2 歧南断阶带

歧口凹陷是典型的北断南超的箕状半地堑结构,断裂十分发育。大都属于完整的正断层性质,几乎没有走滑性质干扰,该区断层都具有明显的“Y”型组合样式,主次断裂具有很好空间配置关系,加之已在新近系发现大量的油气聚集,因此,歧南断阶带是我们研究区带上断裂活动与油气的聚集和保存很好的“天然实验室”。

歧南断阶带所有断裂自北向南走向由 NW - SE 向到 EW 向再到 NE - SW 向,不同级别断层活动性的差异对油气的输导和保存甚至起着决定性的作用。图 4a 和图 4c 所示的 H1 大断裂是该区继承性发育的主干断裂,同时也是歧口凹陷的

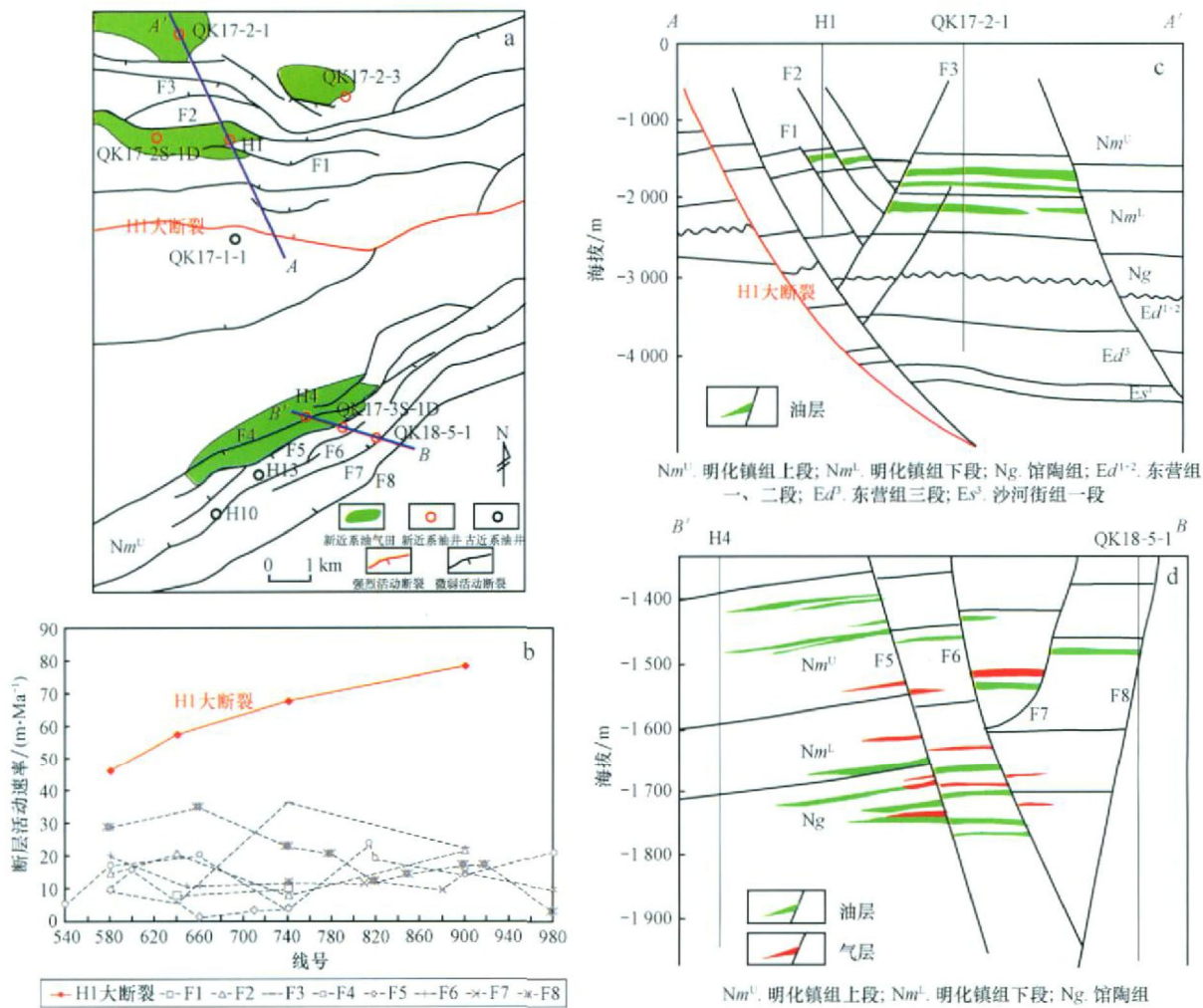


图 4 歧南断阶带主要断层与油气分布、晚期断裂活动速率对比及油藏剖面

Fig. 4 Distribution of the main faults and hydrocarbon accumulations, comparison of the late fault activity rates and reservoir profiles in the southern slope of the Qikou Depression

a. 歧南断阶带明化镇组上段断层及油气平面分布; b. 歧南断阶带晚期断裂活动速率对比

c. QK17- 1、2 构造油藏剖面; d. QK17- 3 油田油藏剖面

I 级控盆断裂, 控制着整个歧口凹陷的沉积和发育, 从图 4b 的断裂活动速率分析图可以看到, 该断层沿其走向活动速率进行有规律的变化, 自西向东活动性逐渐增强, 东端最高可达近 80 m/Ma 左右, 西端相对较低, 但也都大于 45 m/Ma 它深切古近系源岩, 对油气主要起到垂向上的输导作用; F8 虽为区带上的次级断裂, 但在其油藏内部则具有主干断层性质 (图 4d), 该断层沿其走向活动速率变化较大, 呈现西高东低的特点, 西端最高可达 35 m/Ma 左右, 对油气主要起到垂向上的输导作用, 使得油气从古近系运移到浅层或发生散失, 致使在断层的西端附近没有发现油气的聚集; 而东端活动速率较低, 一般都小于 15 m/Ma,

使其对油气又起到了一定的保存作用, 与图 4d 油藏剖面图所展现的完全一致。其它次级断裂活动速率都很低, 一般都小于 25 m/Ma, 使得由 H1 大断裂输导上来的油气在其控制下发生聚集。

通过对石南斜坡带和歧南断阶带断裂活动与油气的聚集和保存的剖析, 我们发现主干断裂活动性总体都很强 (一般大于 25 m/Ma), 对油气主要起到了垂向上的输导作用, 而难以在其浅层控制油气的聚集, 但在其活动微弱的部位同样具有聚集和保存油气的能力; 而次级断裂总体上活动速率较低 (一般小于 25 m/Ma), 主要起到聚集油气的作用。总而言之, 主干断裂主要起输导作用,

次级断裂主要起控制和保存油气的作用,它们的有效组合构成了油气输导保存体系。

3 讨论

上述研究表明,沿主干断裂走向断裂活动速率的变化影响着油气的输导和保存;在同一区带内,具有较高活动速率的主干断裂与活动速率较低的次级断裂的有效组合构成了油气输导保存体系。然而对断层而言,是什么因素控制了油气的保存与散失,如何界定活动速率的高与低,它们是如何使油气发生聚集的?为此,将作出以下 3 方面的讨论。

3.1 断裂结构与溢出点位置对断层油气藏的控制

环渤中地区断层主要发育 4 种溢出点和油气藏的配置方式(图 5)。图 5a 所示的油气藏溢出点的位置并不在断层上,即断层并不控制油气的保存,因此在断裂活动期两盘的油气藏都能够得以很好的保存;图 5b 所示的两盘油气藏溢出

点的位置都在断层上,断层活动的强弱直接决定了两盘油气的成藏与否,即断层一旦活动,两盘油气将完全散失;图 5c 的溢出点则只控制一盘油气的聚集,而对另一盘的聚集和保存不起到任何作用;图 5d 为断背斜油气藏,虽然其溢出点也在断层上,但断层的活动并不能使得圈闭中的油气完全散失,以溢出点为底界仍可保存一定的油气。

3.2 断裂活动速率与油气聚集保存的关系

为能够更好的分析环渤中地区晚期断裂活动速率对油气输导和保存作用的差异,在一定程度上把握它们之间的规律性,特选取环渤中地区晚期发育(含继承性发育)的 54 条有代表性断层进行了分析和统计(图 6)。首先通过分析研究将各区带的断裂分为输导通道和聚集保存两种类型,进而做出它们在晚期的活动速率,然后放到一起进行比较。从图 6 我们可以看到,起输导通道作用断层的活动速率一般都大于 25 m Ma^{-1} 而起控制油气汇聚作用的一般都明显小于 25 m Ma^{-1} 。

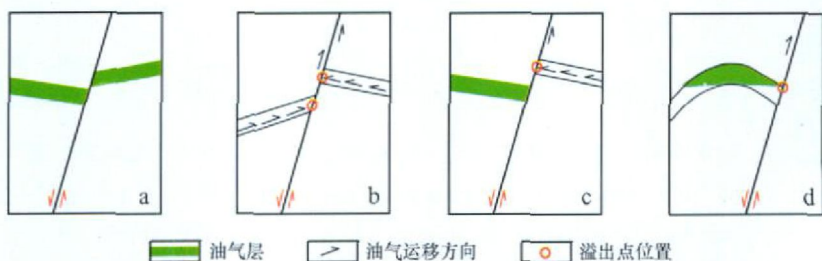


图 5 环渤中地区断层圈闭的主要类型及溢出点对油气成藏的影响

Fig. 5 Major fault-trap types and the influence of spill points on hydrocarbon pooling in the area around the central Bohai Bay

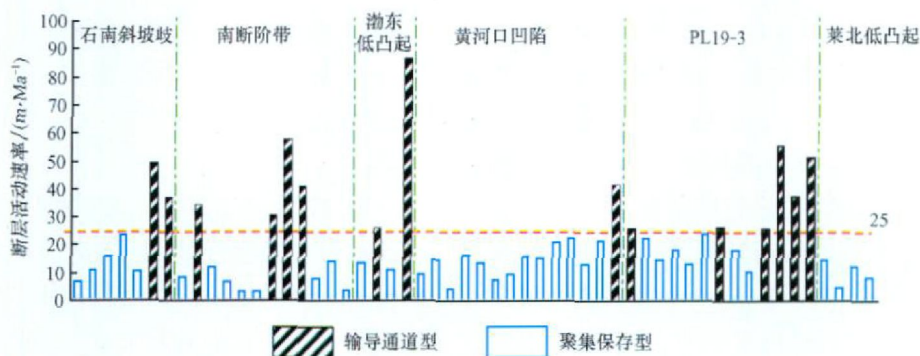


图 6 环渤中地区晚期断裂活动速率与油气输导和保存关系

Fig. 6 Relationship between late fault activity rates and hydrocarbon migration and accumulation in the area around the central Bohai Bay

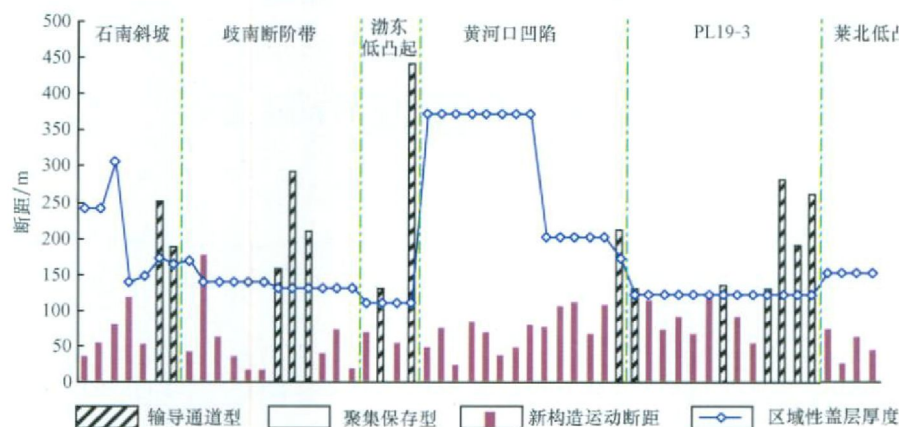


图 7 环渤中地区晚期断裂断距和区域盖层厚度与油气聚集保存关系

Fig. 7 Relationship of late fault throw and regional caprock thickness with hydrocarbon accumulation and preservation in the area around the central Bohai Bay

3.3 断层断距和区域盖层厚度与油气聚集保存的关系

对于断层油气藏而言, 区域盖层的厚度、储层的厚度和断裂断距的配置对断层油气藏的形成起着决定性作用。当断距大于区域盖层厚度时, 断层则主要起到垂向上的输导作用而不利油气的聚集; 当断距小于储层厚度时, 由于两盘砂岩继续对接, 油气依然可以发生侧向运移而很难形成大规模的聚集; 只有当储层厚度 < 断距 < 区域盖层厚度时, 储层中的油气能够被有效的遮挡并大规模的聚集成藏。经调研分析, 本区新近系储层单层厚度无明显差异, 一般为 10~25 m, 都小于新构造运动断层的断距。因此, 本文只对图 6 中 54 条有代表性断层的断距、区域性盖层厚度进行了统计 (图 7)。观察发现, 输导通道型断层的断距都大于区域盖层厚度; 而聚集保存型断层的断距都小于区域盖层厚度。对于本研究区而言, 在新构造运动期, 活动速率较大的断层其断距也相应较大。对比浅部统一套区域性盖层, 活动速率较大的断层往往容易使盖层完全错开, 使油气在垂向上发生输导; 而活动速率较小的断层难以完全错开盖层, 从而使得油气聚集成藏。

4 结论

1) 环渤中地区新构造运动期断裂十分发育, 主要可分为 3 个层次: 强烈活动断裂 (活动速率大于 25 m/Ma), 中等活动断裂 (活动速率为 5~25

m/Ma), 微弱活动断裂 (活动速率小于 5 m/Ma)。

2) 新近系的油气藏主要分布在中等或微弱活动断裂附近 (活动速率小于 25 m/Ma), 而强烈活动断裂 (活动速率大于 25 m/Ma) 主要起油气的垂向输导作用, 不利于油气的聚集和保存, 但在沿其走向活动相对微弱的部位也可以形成油气聚集, 主次断裂的有效组合构成油气输导保存体系。

3) 在环渤中地区浅层油气勘探过程中, 对于具有良好生储盖条件的区带, 将目标锁定在大断裂附近活动微弱的构造部位, 或许会有新的更大发现。

参 考 文 献

- 王培荣, 张大江, 宋孚庆, 等. 区分渤中坳陷三套烃源岩的地球化学参数组合 [J]. 中国海上油气 (地质), 2004, 16(3): 157~160
- 米立军. 新构造运动与渤海海域上第三系大型油气田 [J]. 中国海上油气 (地质), 2001, 15(1): 21~28
- 邓运华. 郯庐断裂带新构造运动对渤海东部油气聚集的控制作用 [J]. 中国海上油气 (地质), 2001, 15(5): 301~305
- 吕延防, 沙子萱, 付晓飞, 等. 断层垂向封闭性定量评价方法及其应用 [J]. 石油学报, 2007, 28(5): 34~38
- 刘泽荣. 断块群油气藏形成机制和构造模式 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1998 51~60
- 张立宽, 罗晓容, 廖前进, 等. 断层连通概率法定量评价断层的启闭性 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 181~190
- Weber K J M and I G, Pilaar W F, et al The role of faults in hydrocarbon migration and trapping in Nigerian growth fault structures [R]. Society of Petroleum Engineers 10th Annual offshore Technology Conference Proceedings 1978 2 643~2 653
- Allan U S M Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(7): 803~811

(下转第 482 页)

- 9 Morley C K, Nelson R A, Patton T L, et al Transfer zones in the East African rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts [J]. AAPG Bulletin, 1990 74(8): 1 234~ 1 253
- 10 胡望水. 裂谷盆地转换构造及其石油地质意义 [J]. 国外油气勘探, 1994 6(2): 145~ 154
- 11 马丽娟, 郑和荣, 解习农, 东营凹陷中央隆起带断裂构造及油气运移 [J]. 石油与天然气地质, 2005 26(2): 246~ 251
- 12 梁锋, 范军侠, 李宏伟, 等. 大港油田板桥凹陷构造变换带与油气富集 [J]. 古地理学报, 2008 10(1): 73~ 76
- 13 漆家福, 邓容敬, 周心怀, 等. 渤海海域新生代盆地中的郯庐断裂带构造 [J]. 中国科学 (D 辑), 2008 38(增刊): 19~ 29
- 14 邓运华. 郯庐断裂带新构造运动对渤海东部油气聚集的控制作用 [J]. 中国海上油气 (地质), 2001, 15(5): 301~ 305
- 15 米立军, 段吉利. 渤中坳陷中浅层油气成藏特点及其聚集规律 [J]. 石油学报, 2001 22(2): 32~ 37
- 16 邓津辉, 周心怀, 魏刚, 等. 郯庐走滑断裂带活动特征与油气藏的关系——以金县地区为例 [J]. 石油与天然气地质, 2008 29(1): 102~ 106
- 17 万天丰. 郯庐断裂带的演化与古应力场 [J]. 地球科学, 1995 20(5): 526~ 534
- 18 万天丰. 郯庐断裂带的形成与演化综述 [J]. 现代地质, 1996 10(2): 159~ 167
- 19 张方银. 郯庐断裂带构造特征及油气分布规律 [J]. 油气地质与采收率, 2002 9(6): 22~ 25
- 20 孙红军. 中生代辽河盆地区域应力场变化及其成因 [J]. 古地理学报, 2002 4(4): 61~ 69
- 21 赵洪格, 刘池阳, 杨明慧, 等. 调节带和传递带及其在伸展区的分段作用 [J]. 世界地质, 2000 19(2): 105~ 110
- 22 王国纯. 郯庐断裂与渤海海域反转构造及花状构造 [J]. 中国海上油气地质, 1998 12(5): 289~ 295
- 23 邓运华. 断裂-砂体形成油气运移的“中转站”模式 [J]. 中国石油勘探, 2005 (6): 14~ 17
- 24 刘玉瑞, 刘启东, 杨小兰. 苏北盆地走滑断层特征与油气聚集关系 [J]. 石油与天然气地质, 2004 25(3): 279~ 283

(编辑 董立)

(上接第 468 页)

- tonic context [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2004 29: 25~ 41
- 8 李勤英, 罗凤芝, 苗翠芝. 断层活动速率研究方法及应用探讨 [J]. 断块油气田, 1999 7(2): 15~ 17
- 9 赵力彬, 黄志龙, 高岗, 等. 关于用包裹体研究油气成藏期次问题的探讨 [J]. 油气地质与采收率, 2005 12(6): 6~ 9
- 10 白国平. 包裹体技术在油气勘探中的应用研究现状及发展趋势 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 2003 27(4): 136~ 140
- 11 Cao J, Jin Z, Hu W X, et al. Integrate GOI and composition data of oil inclusions to reconstruct petroleum charge history of gas-condensate reservoirs: example from the Mosuowan area, central Junggar basin (NW China) [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(1): 137~ 144
- 12 Cartrell A, Bailey W R, Brincat M. A new model for assessing trap integrity and oil preservation risks associated with post-rift fault reactivation in the Timor Sea [J]. AAPG Bulletin, 2006 90(12): 1 921~ 1 944
- 13 李大伟. 新构造运动与渤海湾盆地上第三系油气藏 [J]. 石油与天然气地质, 2004 25(2): 170~ 184
- 14 龚再升. 中国近海含油气盆地新构造运动和油气成藏 [J]. 石油与天然气地质, 2004 25(2): 133~ 135
- 15 马丽娟, 郑和荣, 解习农. 东营凹陷中央隆起带断裂构造及油气运移 [J]. 石油与天然气地质, 2005 26(2): 246~ 251

(编辑 董立)

(上接第 475 页)

- 9 Lindsay N G, Murphy F C, Walsh J J, et al. Outcrop studies of shale smears on fault surfaces [Z]. International Association of Sedimentologists Special Publication, 1993 113~ 123
- 10 Peter B, Graham Y, Helen J. Using Calibrated shale gouge ratio to estimate hydrocarbon column heights [J]. AAPG Bulletin, 2003 87(3): 397~ 413
- 11 Constantin J, Peyaud J R, Vergé P, et al. Evolution of the structural fault permeability in argillaceous rocks in a polyphased tectonic context [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2004 29: 25~ 41
- 12 葛建党. 郯庐断裂在渤中凹陷的构造特征与油气成藏的关系 [J]. 海洋石油, 2000 107: 14~ 20
- 13 邓津辉, 周心怀, 魏刚, 等. 庐走滑断裂带活动特征与油气成藏的关系——以金县地区为例 [J]. 石油与天然气地质, 2008 29(1): 102~ 106
- 14 李勤英, 罗凤芝, 苗翠芝. 断层活动速率研究方法及应用探讨 [J]. 断块油气田, 1999 7(2): 15~ 17
- 15 王书宝, 钟建华, 陈志鹏. 惠民凹陷新生代断裂活动特征研究 [J]. 地质力学学报, 2007, 13(1): 86~ 96
- 16 肖英玉, 郝雪峰. 断层生长指数在层序地层单元中应用的局限性 [J]. 油气地质与采收率, 2003 10(增刊): 1~ 3
- 17 陈刚, 戴俊生, 叶兴树, 等. 生长指数与断层落差的对比研究 [J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(3): 20~ 23
- 18 盛文波, 操应长, 刘晖, 等. 东营凹陷古近纪控盆断层演化特征及盆地结构类型 [J]. 石油与天然气地质, 2008 29(3): 290~ 296

(编辑 董立)