

文章编号: 0253- 9985(2004) 02- 0133- 06

中国近海含油气盆地新构造运动和油气成藏

龚再升

(中国海洋石油总公司, 北京 100027)

摘要: 新构造运动的成因主要是由于近代板块运动或地球深处壳幔物质交替、位移, 以及陆架陆坡转折带沉积体的滑塌陷落、盆地快速沉降等因素诱发地壳区域应力场改变, 在某些应力集中而失去平衡的区域, 产生地体形变, 或形成断裂。中国近海新构造运动的表现形式主要体现在: 中新统末、上新统与第四系之间存在着不整合; 中新统和第四系的沉降、沉积中心偏移; 晚期断裂极其发育; 天然地震比较活跃; 具有新构造运动形成的各种晚期构造圈闭。中国近海新构造运动调整和控制了各含油气盆地的油气成藏和油气田的分布: 渤海新构造运动控制渤中坳陷及其周围油气晚期成藏; 莺歌海盆地底辟活动控制天然气晚期成藏; 珠江口盆地新构造运动控制珠二坳陷北坡天然成藏; 东海西湖坳陷新构造运动部分破坏了油气藏。

关键词: 新构造运动; 晚期成藏; 中国近海; 构造成因

中图分类号: TE112.4 文献标识码: A

Neotectonic movement and hydrocarbon accumulation in petroliferous basins, offshore China

Gong Zaisheng

(CNOOC, Beijing)

Abstract: Neotectonic movements in offshore China are mainly represented by unconformities that occurred by the end of Miocene and between Pliocene and Quaternary, subsidence and migration of depocenter during Miocene and Quaternary, well development of late faulting, active earthquake, and various structural traps resulting from Neotectonism. Neotectonism is contributed to changes of regional stress field caused by various factors, such as recent plate movement, replacement and migration of crust and mantle in deep earth, slumping and depressing of sedimentary bodies in transitional zone between shelf and continental slope, and rapid subsidence of basins. Terrain deformation or faulting occurred in some areas where stress concentration resulted in losing equilibrium. Neotectonism in offshore China adjusted and controlled hydrocarbon accumulation and field distribution in each petroliferous basin. Neotectonism in Bohai Bay basin controlled late hydrocarbon accumulation in Bozhong depression and surrounding areas; diapirism in Yinghai basin controlled late gas accumulation; neotectonism in Zhujiangkou basin controlled gas accumulation in the northern slope zone of Zhur II depression; while that in Xihu depression partially disrupted oil and gas reservoirs.

Key words: Neotectonism; late accumulation; offshore China; tectonic origin

从不同研究目标出发, 不同专家和学者对所谓新构造运动概念的理解和所界定的时间段都有所不同^[1]。我们从新构造运动和油气成藏的关系出发, 谈近海的新构造运动是指晚第三纪至第四纪, 特别是中新世末(大约 5.2 Ma) 至今的构造运动。这

是近海第三纪盆地裂后热沉降最活跃的时期, 并伴随着裂后构造再活动。这一期构造运动, 调整和控制了各含油气盆地的油气最终成藏和油气田的定型分布。研究这一期构造运动的形成、发育、发展、分布特征, 对盆地的油气勘探有重要的指导作用。

1 新构造运动

1.1 表现形式

1.1.1 不整合

总体上看,中国近海各盆地第三系至第四系的沉积充填过程,是继承性的连续沉积,但由于裂后热沉降期的构造再活动,常在盆地某些活跃的部位,会出现上中新世末期以来各层系之间的不整合。

在渤海,郯庐断裂及区域性的北西向断裂重新活跃。渤中地区,上新世末,地层抬升,轻度褶皱,并遭受剥蚀,与第四系沉积之间,产生了明显的角度不整合^[2]。根据地震剖面分析,这次运动受郯庐断裂影响较大^[3],在断裂带附近表现强烈,如 PL19-3, PL14-3, PL25-6, BZ28-1, KL11-2 等构造上均有显示(图1)。

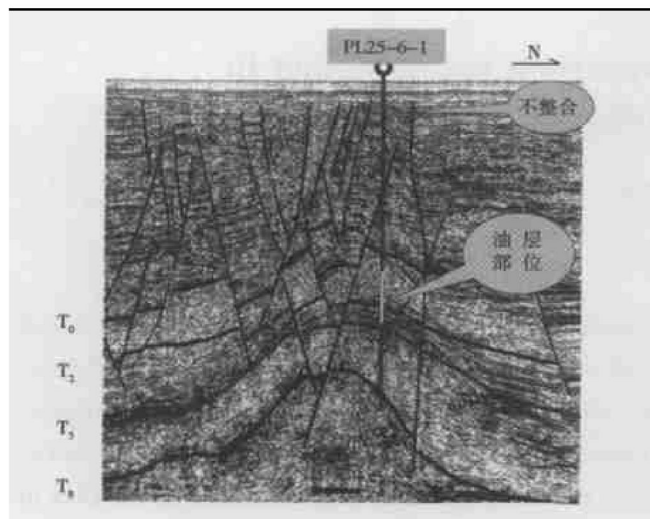


图1 渤海湾盆地过 PL25-6-1 井地震剖面
Fig.1 Seismic cross section through PL25-6-1 well
in Baohai Bay basin

莺歌海盆地晚中新世末期以来,构造运动总体是不强烈的,但因热沉降后的构造再活动,该盆地的第四系沉积速率可高达 $1\,000\text{ m/Ma}$ ^[4],在上新统及第四系内部存在着明显的地层超覆和角度不整合^[5],特别是中央的泥底辟活动,造成上部地层上拱,围绕底辟活动强烈的部位,以及盆地东部斜坡,出现地层的超覆和地层不整合。

东海盆地西湖坳陷上新世末发生大规模反转构造运动,出现大范围地层削蚀。珠江口盆地东部上新世末也存在明显的角度不整合^[6]。

1.1.2 沉降、沉降中心偏移^[2,7]

渤海上中新统的沉降中心有两个,一个位于

歧口凹陷西部,沉积厚度超过 700 m ,另一处位于辽东湾南段至黄河口凹陷,沉积厚度超过 500 m ,呈北西展布。在辽东湾北段缺失上中新统,第四系直接覆盖在中中新统及下中新统之上。第四系的沉降中心出现在渤中及莱州湾凹陷,最大沉积厚度近 600 m ,呈北东展布。这种沉降中心偏移,缺乏继承性,是这一时期新构造运动的又一表现。

莺歌海盆地第三纪,自始新世、渐新世、中新世至第四纪,各时期沉积中心由北西逐步沿盆地长轴方向往南东依次转移^[4],从始新世到第四纪,沉积中心转移距离长达 480 km 。上新世和更新世的沉降中心还在转移,缺乏继承性。

1.1.3 晚期断裂

晚期断裂活动是新构造运动最直观、最重要的表现形式。中国近海晚期断裂总的特点是:断裂数量多,规模小,常与控坳断裂、区域大断裂相伴生,断裂方向以近东西向或北西西向为主,多呈羽状排列。其在近海各盆地的表现,大致可分为3类。

(1) 自基底往上,断裂越来越发育。如渤海海域的断裂自前第三纪至老第三纪、新第三纪、第四纪,越来越发育。第三系底部的断裂主要发育在现在的隆起及凹陷的边界上,实际上是将下第三系分割成为多个孤立的箕状断陷,主要为北东向和北西向,是裂谷断陷期湖相沉积的主控因素^[3]。在这些基底断裂的基础上,在裂谷断陷和裂后热沉降过程中,断裂不断增加,特别是在 $1.5\sim 2\text{ Ma}$ 期间,出现断裂活动高峰。从断裂的条数统计看,同一地区上第三系底的断裂数量大约是下第三系底断裂的 $3\sim 4$ 倍,而第四系底又是上第三系底的断裂数量的 2 倍。这些断裂有以下特征:①断裂发育层位浅,不少断裂直达海底,并伴随有天然气苗逸散,表明断裂现今仍在活动;②这些断裂和早期断裂有继承性和派生关系,其中部分断裂与主断裂枝状连接,呈花状、耙状或对偶相切;③断裂主要是张性,或张扭性,派生的近东西向断层一般长 $2\sim 5\text{ km}$,断裂密度 $1\sim 2$ 条/千米,断距一般 $10\sim 50\text{ m}$ ^[6]。

(2) 断裂继承性发育,中新世后有所减弱^[8]。珠江口盆地的断裂活动和渤海类似,自基底以上各层断裂越来越发育,但自早中新世以后,断裂发育程度有所减弱,渡过了一段平静期,据李平鲁等^[9]研究统计,珠江口盆地下第三系底有各类断裂 900 条,到下中新统末,断裂数量增至 $1\,766$ 条,

到上中新统, 断裂又减少至1 479条。晚中新世末期, 新构造运动比较活跃, 特别是隆凹交界继承性发育的大断裂附近, 晚期断裂有所加强, 如东沙隆起南坡往西至番禺低隆起、白云凹陷北坡, 潮汕坳陷, 惠州凹陷西南部一带。

(3) 晚期断裂只在某些特定部位发育。自基底经早第三纪至晚第三纪断裂越来越不发育, 如东海、南黄海、琼东南、莺歌海、北部湾盆地基本上均属这种情况。琼东南盆地和莺歌海盆地整个晚第三纪处于构造运动平静期, 大范围内仅在控制盆地的边界断层附近, 存在断裂的晚期活动, 且以继承性断裂活动为主。但在莺歌海盆地的中央, 由于底辟活动垂向拱张作用, 沿每个底辟及其周围产生了一些长度较短、断距不大的断裂、裂隙网, 常呈团状或放射状分布。

东海盆地晚期断裂活动主要存在于冲绳海盆的北端和南端。西湖坳陷中央, 中新世末构造反转产生了反转背斜带^[10], 在这些构造上有两期主要断裂, 一期是始新世到渐新世, 继承性发育的断裂, 呈北北东、近南北向, 和构造轴线走向近于一致; 另一期是中新世末的断裂, 这期断裂横切构造, 近东西向, 活动延续至上新世。

1.1.4 天然地震

在渤海, 近代大地震震中不少分布在郯庐断裂沿线, 在海域渤中坳陷周围, 地震十分活跃, 其中超过7.9级大地震3次, 2.9~7.8级地震13次, 小于2.9级的地震自辽宁省海城沿郯庐断裂往南经渤中坳陷至潍坊、郯城十分频繁, 据分析, 渤中地区地震震源深度约20~40 km^[2]。

台湾及其外海处于现代板块俯冲碰撞带上, 是天然地震最活跃的部位^[11]。莺歌海盆地虽然近代地震不太活跃, 但在台湾921车垄铺大地震时, 发现莺歌海盆地中央有放气现象, 直接表明新构造运动的活跃程度。

1.1.5 晚期构造圈闭

这些构造有走滑扭动型, 逆牵引型、滑塌型、张扭挤压型。在渤海, 受新构造运动控制和改造, 形成了大量构造圈闭。这些圈闭主要沿着郯庐断裂及控制隆起、凹陷的边界大断裂分布, 有披覆-反转复合背斜, 反转背斜, 逆牵引背斜, 滑塌断裂背斜等。在珠江口盆地, 主要表现是出现雁行排列的北西西、近东西向的正断裂带, 沿着这些断裂上盘出现大量的反向半背斜圈闭, 断裂下盘出现

逆牵引背斜。东海盆地, 最晚一期大范围的构造反转运动产生在中新世末, 在西湖坳陷、钊北坳陷, 形成了数量众多、规模巨大的反转背斜带。

1.2 成因

新构造运动主要是由于现代板块运动或地球深处壳幔物质交替、位移等因素诱发地壳应力场改变, 在某些应力集中而失去平衡的区域, 产生地体形变, 或形成断裂。中国近海主要受太平洋板块、菲律宾板块向欧亚板块俯冲碰撞, 以及印度板块向北碰撞诱发青藏高原向东构造挤压等因素, 引起近海各盆地内某些特定区域的晚期新构造运动。其次, 是外应力作用, 如陆架陆坡带在沉积物充填时引起的滑塌, 或大气圈、水圈、人类对地壳产生突发性冲击引起地壳局部变动。新构造运动同时受控于各盆地的地质结构和地质特征, 即外因通过内因起作用。因此, 新构造运动的出现, 在一个盆地或一个区域是不均衡的, 不普遍的, 只在某些局部区域和部位才有明显的表现。在中国近海具体有以下4种成因。

(1) 近代板块运动诱发的新构造运动。如东海盆地西湖坳陷中新世末反转构造, 台湾岛及其周边因近代板块俯冲活动引起的新构造活动。

(2) 深部动力源诱发的区域大断裂的继承性活动或重新活动, 如纵贯渤海的郯庐断裂带。

(3) 陆架陆坡转折带沉积体的滑塌陷落诱发珠江口盆地、琼东南盆地的陆架、陆坡转折带断裂的重新活动(图2)。

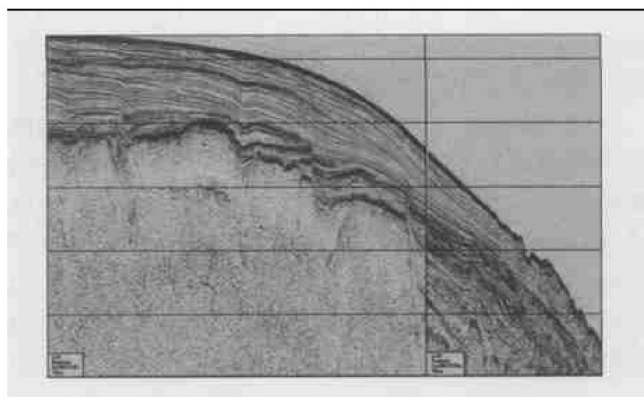


图2 琼东南盆地转折带断裂分布图

Fig. 2 Fault distribution in the transitional zone in Qiongdongnan basin

(4) 盆地快速沉降和区域应力场变化诱发的底辟活动, 如莺歌海盆地中央持续的底辟活动。

2 油气藏形成

一个含油气盆地,总是最晚的一期构造运动,调整、控制了盆地油气的最终成藏和油气的分布。在中国近海第三纪盆地,也就是我们所说的新构造运动调整、控制了盆地油气的最终成藏和油气的分布。这种控制对油气成藏有建设性的,也有破坏性的。

另外,在第三纪含油气沉积盆地内,新构造运动控制油气动平衡成藏。由于新构造运动总是伴随着断裂活动,使已形成的油气藏中油气发生逸散,同时也发生新的充注,当供聚大于散失时,油气充满度高。当散失大于供聚时,油气藏充满度低,甚至遭到完全破坏。以下介绍几个近海盆地新构造运动控制油气成藏的实例。

2.1 渤中坳陷

(1) 自燕山、太行山、胶辽隆起向海域,其沉积、沉降、构造、断裂都由老向新转移,这一特点促成海域油气生成、运移、成藏一般时代较晚。

(2) 新构造运动极大改善了上第三系的储盖组合。华北盆地新第三纪广泛接受周边高山、隆起区丰富的物源,形成了大范围冲积扇、河流、沼泽平原相的沉积^[7],缺乏良好盖层,越靠近山前的坳陷岩性越粗,没有好的储盖组合。而渤中坳陷相对远离物源补给区,同时新构造运动又加剧了这个坳陷的晚期沉降,使渤中坳陷在中新世出现了滨浅湖相沉积,发育了湖相三角洲、曲流河、辫状河流相沉积,使中新统的馆陶组、明化镇组构成了砂岩、泥岩互层,储盖组合条件得到极大地改善,从而成为华北盆地上第三系储盖组合条件最好的区域。

(3) 渤中坳陷除沙河街组烃源岩外,东营组也是一套成熟优质的烃源岩^[12]。渤中坳陷新构造运动加剧晚期沉降,上第三系和第四系的沉积厚度超过4 000 m,使渐新统东营组及沙河街组都埋藏在生油门限深度以下。沙河街组尽管埋藏深,但因上覆地层是快速沉降,埋藏时间短,加之渤中坳陷地温较低,使整个华北盆地普遍存在的这套生油岩在渤中坳陷仍然保留着良好的生烃潜力。

(4) 新构造运动改造,形成了大量的晚期构造圈闭^[3],渤海含油区构造演化具多幕裂陷叠加,特别是中新世末以来的新构造运动形成和改造了一批晚期的圈闭。有披覆反转复合型、逆牵引型、垮塌型等,圈闭定型在晚中新世至第四纪,如 PL19-

3 就是上新世末具雏形,第四纪定型的披覆和反转型复合大背斜(图3)。

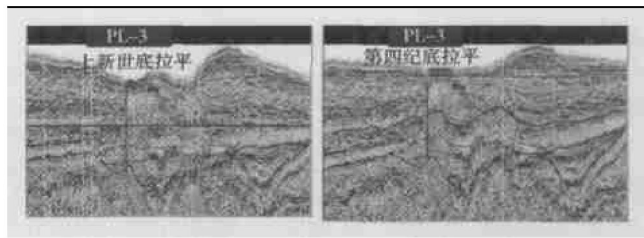


图3 PL19-3 断背斜圈闭地震剖面图

Fig. 3 Seismic cross section of faulted anticline in PL19-3 oil field

(5) 新构造运动形成晚期油气运移的疏导网。新构造运动促使渤中坳陷周围以郯庐断裂为代表的主要断裂在晚第三纪—第四纪重新强烈活动,并伴生了大量的北东、近东西向的密集断裂网,这些断裂相互切割,沟通了沙河街组、东营组油源向上运移,也沟通了前第三系与下第三系,下第三系与上第三系之间的不整合面,还沟通了区域性分布的馆陶组的厚砂层,从而使断裂、不整合面、砂岩体共同组成油气疏导系统,使渤中坳陷始新统、渐新统生成的油气通过油气运移疏导网向周围隆起方向运移,形成晚期油气聚集。

(6) 新构造运动决定了油气动平衡成藏。晚第三纪—第四纪—现今,新构造运动既促进油气自下往上沿断裂运移、成藏,同时也对已形成油气藏造成破坏、渗漏和逸散, PL19-3、BZ29-4 等油气田的地震剖面上可以看到(图4),由于油气不断沿裂隙向上逸散,形成明显的气烟窗带,剖面成像

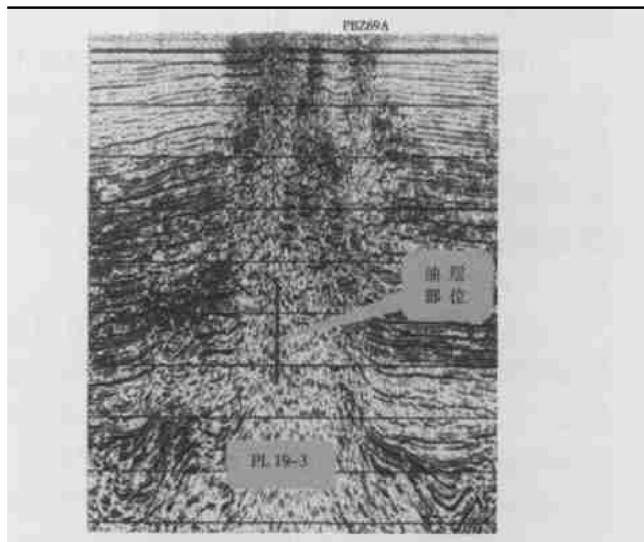


图4 PL19-3 油田油气逸散剖面图

Fig. 4 Cross section showing oil and gas dissipation in PL19-3 oil field

模糊。但是由于渤中坳陷始新统、渐新统存在巨大的烃源体, 至今仍处于生烃的高峰期, 油气源源不断通过运移疏导系统向油气藏运移聚集, 尽管有部分逸散、渗漏, 而总体是处于供聚大于散失的状态, 使油气处于动平衡成藏。

2.2 莺歌海盆地

莺歌海盆地晚第三纪以来的强烈沉降, 接受了7 000 m以上的上第三系沉积, 第四纪的沉积速率高达1 000 m/Ma, 表明整个盆地就是一个受晚期构造运动控制的盆地。盆地内的天然气成藏更是受新构造运动影响的晚期成藏。快速沉降、欠压实、水热、生烃等因素促成强超压, 在区域构造应力场的影响下, 诱发了盆地中央的泥底辟活动。底辟活动是天然气成藏的主导因素, 使莺歌海盆

地出现了独特的天然气晚期成藏。

(1) 渐新世以来, 一号断裂带右旋走滑, 盆地中央出现雁行排列的南北向剪切断裂, 在盆地中央从东方区往南至乐东区, 大致有4条南北向的剪切断裂带, 诱发了较深部海相超压泥质岩类的塑性流动^[13], 形成了规模巨大的泥底辟活动带, 从构造、断裂、油气运聚等相关资料分析, 底辟活动在上第三纪、第四纪至今, 一直处于活动状态。它是导致该盆地能量逸散和天然气成藏的主导因素。

(2) 底辟带的拱张活动, 在不同深度形成了上覆拱张背斜, 据DF1-1、LD22-1等气田构造分析认为, 这些构造受泥底辟活动拱张作用控制, 构造形成在中新世末—上新世, 一直延续至第四纪方始定型(图5)。

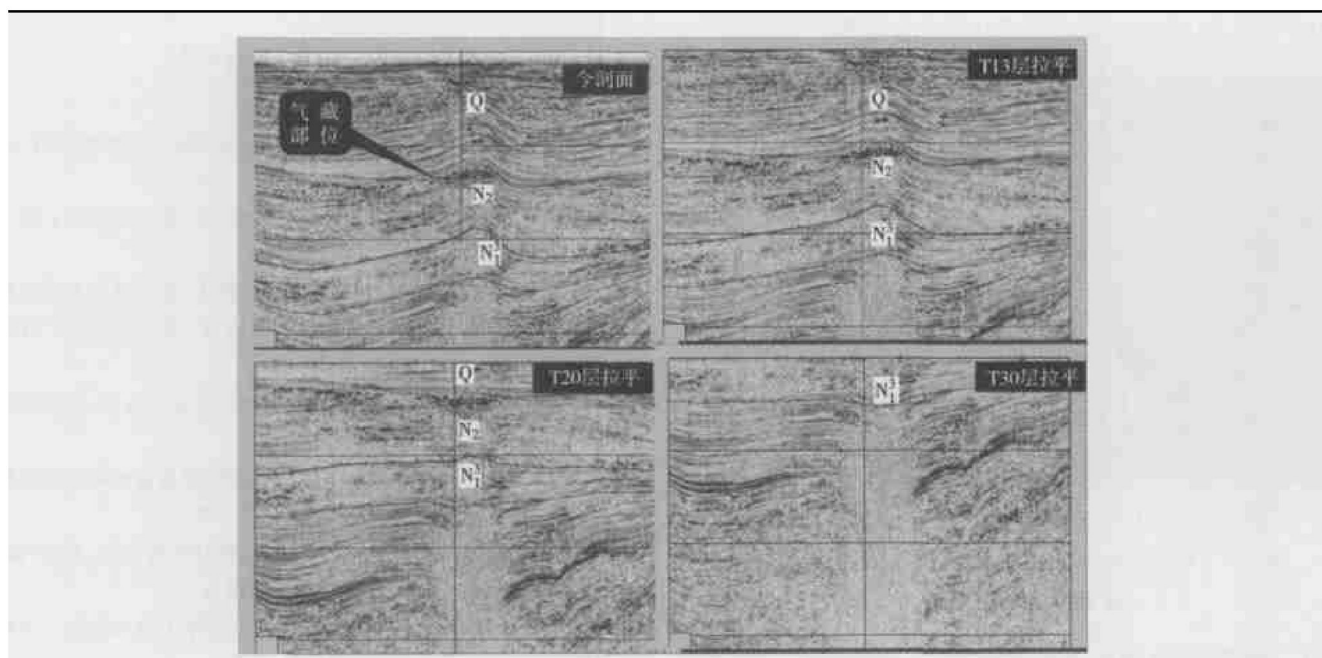


图5 DF1-1气田地震剖面图

Fig. 5 Seismic cross section of DF 1-1 gas field

(3) 随着底辟拱张, 上覆地层产生了高角度的断裂和垂向裂隙系统, 构成流体运移的主要通道, 沟通了深处天然气和水等流体向上运移, 因天然气等流体穿层充注(气烟囱)引起地震剖面的模糊成像带, 这是泥底辟和流体底辟共存的带, 统称底辟带。

(4) 天然气具有幕式快速充注、多期流体充注的特点^[14]。根据同位素、包裹体和不同层位天然气组成分析, DF1-1气田存在多期流体充注。岩石中粘土矿物含量的截然变化, 反映瞬间的流体活动, 其中夹层泥岩的负地温梯度, 表明每期流体热效应持续时间, 估计小于5 000 a^[5], 同时显示了流体活动呈间歇性。DF1-1浅层气田背斜圈闭最

后形成于第四纪, 是通过多期幕式排烃, 多期流体充注后幕式成藏的, 是典型的晚期成藏气田。

(5) 莺歌海盆地的气田是天然气供聚大于逸散的动平衡成藏。由于莺歌海盆地中渐新统的海相泥岩至今仍外处于生烃高峰期, 底辟活动又在持续发展, 与底辟活动相关的气田, 一直存在运聚和逸散, 这可以从海底及沿岸气苗, 海底麻坑, 台湾九二一大地震期间在莺歌海盆地诱发的放气现象, 地震剖面上的气烟囱、气裂隙等得到充分证实。所以是天然气供聚大于逸散的动平衡成藏。

2.3 珠江口盆地

珠江口盆地东部靠近菲律宾板块吕宋岛弧与

华南板块碰撞带^[1],自中新世末以来,发生过两期碰撞,中新世/上新世,上新世/更新世,大致在5 Ma和2 Ma左右,是盆地内新构造运动最活跃的地区。在东沙隆起南坡往西至番禺低隆起、白云凹陷北坡,潮汕坳陷,惠州凹陷西南部一带,晚期断裂尤为活跃。这些断裂沿早期潜伏的北西向基底断裂重新活动,并且派生出许多羽状排列的北西西及近东西向断裂。在白云凹陷北坡,这些晚期活动的反向屋脊断裂是控制该地区天然气成藏的主要因素。

目前发现的天然气构造均位于晚期活动的北西西向断裂带,白云凹陷内的天然气沿着活动的断裂带由凹陷中心向北部斜坡运移,同时沿晚期活动的断裂向上运移到达浅层(图6),也表明这些天然气田是新构造运动控制的晚期成藏。

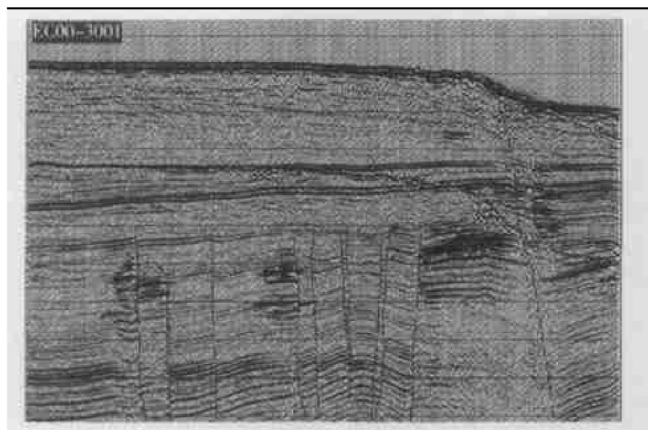


图6 珠江口盆地珠二坳陷典型地震剖面图

Fig. 6 Typical seismic section in Zhur II depression in Zhujiangkou basin

2.4 东海西湖坳陷

西湖坳陷中央反转构造带本身是在中新世末才形成^[10],以后才有油气运聚成藏,但由于中新世末期后,局部出现的新构造运动,产生了一批横切背斜构造的近东西向晚期断裂,尽管这些断裂规模不大,断距很小,但对已形成的油气藏产生了破坏作用,引起了油气的逸散,降低了油气田的充满度,晚期断裂分割并控制油气藏的油水系统,不同断块含油气高度差别很大,某些断块油气散失严重,剩余油气藏高度很小,最晚的这期断裂活动影响了油气田的规模。

3 结语

新构造运动对油气成藏的影响和控制在中国

近海的研究,目前还处于初始阶段,我们申请的国家自然科学基金重点项目《渤海中部新构造运动及深部动力过程对大型油气系统形成的控制》正在就有关问题深入研究探讨。我们认为一个含油气盆地总是最晚一期构造运动,改造、控制、调整了油气的最后分布和成藏。对于第三纪盆地,更是新构造运动控制了油气最终成藏。因此研究新构造运动的存在、发育、发展,对提高油气勘探成效有重要的指导作用。

致谢:在编写本文过程中,引用了中国海洋石油总公司研究中心所属单位不同阶段所做的某些图件,得到了蔡东升、张功成、王国纯、李绪宣、杨少坤、邓运华、谢玉洪等同志的支持,在此致以衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 李通艺. 东亚地体构造演化的回顾与展望[J]. 科学发展月刊, 2000, 28(10): 754~ 762
- 2 龚再升, 王国纯. 渤海新构造运动控制油气晚期成藏[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 1~ 7
- 3 蔡东升, 罗毓晖. 渤海浅层构造变形特征、成因机理与渤中坳陷及其周围油气富集的关系[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(1): 35~ 43
- 4 邱中建, 龚再升. 中国油气勘探(第四卷)[M]. 北京: 地质出版社, 石油工业出版社, 1999. 934, 961
- 5 龚再升, 李思田, 杨甲明, 等. 南海北部陆缘盆地成藏动力学研究[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 177~ 178
- 6 陈长民, 施和生, 许仕策, 等. 珠江口盆地(东部)等三系油气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 1~ 9
- 7 米立军. 新构造运动与渤海海域上第三系大油气田[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(1): 21~ 28
- 8 杨少坤, 林鹤鸣, 郝沪军. 珠江口盆地——中国21世纪油气勘探的一颗明珠[M]. 北京: 中国石化出版社, 2003. 480~ 484
- 9 李平鲁. 珠江口盆地新生代构造运动[J]. 中国海上油气(地质), 1993, 7(6): 11~ 17
- 10 陈志勇, 葛和平. 中国东海反转构造与油气聚集[M]. 北京: 中国石化出版社, 2003. 399~ 403
- 11 Lee J C, Deffontaines B, Angelier J, et al. Morpho-tectonic map of Taiwan[M]. China Taiwan: Published by Central Geological Survey, 1997
- 12 黄正吉, 李友川. 渤海湾盆地渤中坳陷东营组烃源岩的烃源前景[J]. 中国海上油气(地质), 2002, 16(2): 102~ 106
- 13 殷秀兰, 李思田, 杨计海. DF1-1底辟区构造应力场及渗流场演化的数值模拟研究[J]. 地球科学, 2003, 28(3): 268~ 275
- 14 Gong Z S, Hao Fang. Development of diapirs accumulation of natural gases in Yinggehai basin[J]. Journal of China University of Geosciences, 2001, 12(4): 281~ 283