

中国近海含油气盆地新构造运动与油气成藏

龚再升

中国海洋石油总公司,北京 100027

摘要: 自中新世末(大约 5.2 Ma)至今是中国近海新生代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,即本文所定义的新构造运动,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。阐述了新构造运动的概念、识别依据、成因机制以及对油气藏形成的控制。在中国近海,新构造运动的主要表现包括中新统末、上新统与第四系之间及层系内部的不整合、中新世和第四纪沉降、沉积中心的迁移、非常发育的晚期断裂活动及活跃的天然地震等。不同盆地新构造运动的强度、发育机制不同,其对油气成藏与分布的控制亦不同。以渤海湾盆地渤中坳陷、莺歌海盆地和东海盆地西湖坳陷为例,系统地论述了中国近海新构造运动对油气藏形成的控制和影响。渤海新构造运动控制了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了天然气晚期成藏,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;油气成藏;近海盆地。

中图分类号: P618.13;P546

文章编号: 1000-2383(2004)05-0513-05

收稿日期: 2004-06-12

Neotectonics and Petroleum Accumulation in Offshore Chinese Basins

GONG Zai-sheng

China National Offshore Oil Corporation, Beijing 100027, China

Abstract: The Tertiary offshore Chinese basins have been undergoing the most rapid post-rift thermal subsidence since the end of the Miocene (about 5.2 Ma). The thermal subsidence is accompanied by tectonic re-activation. Tectonic movements, i. e. the neotectonics as defined in this paper, modify and control the ultimate petroleum accumulation and distribution in these offshore petroleum-bearing basins. The concept, distinguishing characteristics, genetic mechanism of the neotectonics as well as their controlling role on petroleum accumulation are presented and discussed in this paper. The main manifestations of the neotectonics in the offshore Chinese basins include the formation of unconformities on the end of the Miocene and the Pliocene within the sequences, the shift of sedimentation centers, the strong late-stage fault activities and the active natural earthquakes. The intensity, development mechanism of the neotectonics, and their controls on petroleum accumulation and distribution are quite different in different basins. Some case studies from the Bozhong depression in the Bohai Bay basin, the Yinggehai basin in the South China Sea, and the Xihu depression in the East China Sea basin indicate that the neotectonics plays an important role on late petroleum accumulation in the offshore Chinese basins.

Key words: neotectonics; petroleum accumulation; offshore basins.

0 引言

不同的学者对新构造运动的概念、理解和所界定的时限有所不同(李通艺,2000)。我们从构造运动和油气成藏的关系出发,将中国近海新构造运动定义为新近纪至第四纪,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 近海新构造运动的表现和识别

中国近海盆地新构造运动活跃,但不同盆地新构造运动的表现形式明显不同.通过对不同盆地的系统对比研究,中国近海地区新构造运动的表现和识别标志可概括为如下 5 个方面:

(1)中新统末、上新统与第四系之间乃至层系内部存在着不整合.中国近海各盆地新近系至第四系的沉积充填过程,总体上看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,出现上中新世末期以来各层系之间的不整合.例如,在渤海湾盆地渤中地区和莺歌海盆地,上新统与第四系之间均存在角度不整合(邱中建和龚再升,1999;龚再升和王国纯,2001).

(2)中新世和第四纪的沉降、沉降中心迁移(米立军,2001;龚再升和王国纯,2001).在渤海海域,晚中新世的沉降中心分别位于现歧口凹陷西部(沉积厚度超过 700 m)和渤中坳陷南段至黄河口凹陷(沉积厚度超过 500 m),呈北东向展布.而第四纪的沉降中心分别为渤中坳陷和莱州湾凹陷,呈南北向展布,最大沉积厚度近 600 m.中新世至第四纪沉降中心的迁移缺乏继承性,是这一时期新构造运动的重要特征之一.在莺歌海盆地,自始新世、渐新世、中新世至第四纪,沉积中心由北西沿盆地长轴方向往南东依次迁移(龚再升等,1997),沉积中心迁移距离达 480 km.

(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,在中国近海各盆地表现形式不同,大致可分为 3 类:①自基底往上,断裂越来越发育,以渤海海域为代表.从断裂的条数统计看,同一地区新近纪基底的断裂数量大约是古近纪基底断裂的 3~4 倍,而第四纪基底又是新近纪基底的断裂数量的 2 倍.图 1 是渤中地区明化镇组底界断裂系统分布图,从图中可见,由郯庐断裂带及渤西断裂系派生出东西向和北东东向断裂异常发育,这些断裂具有以下特征:a.断裂发育层位浅,不少断裂直达海底,伴随天然气苗逸散,表明断裂目前仍在活动;b.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;c.断裂主要是张性或张扭性,派生的近东西向断层一般长 2~5 km,断裂密度为 1~2 条/km,断距一般 10~50 m.②断裂继承性发育,中新世后发育程度有所减弱,以珠江口盆地为代表.在珠江口盆

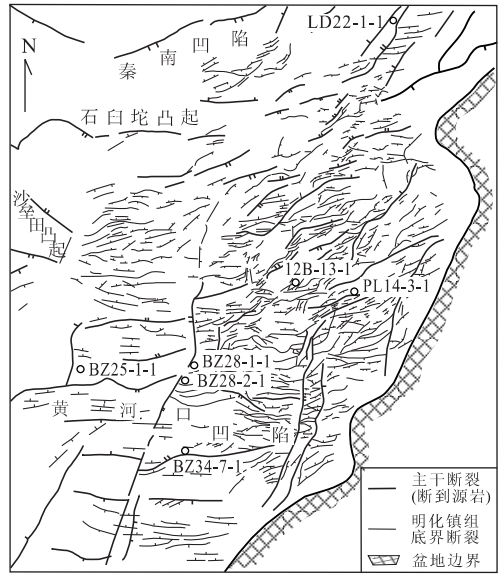


图 1 渤海湾盆地渤中地区明化镇组底面断裂系统分布
Fig. 1 Sketch of fracture system in the bottom of Minghuazhen Formation of Bozhong area, Bohai Bay basin

地,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.统计资料表明,珠江口盆地古近系底面有各类断裂 900 条,到下中新统末,断裂数量增至 1 766 条,到上中新统,断裂减少至 1 479 条.③自基底经古近纪至新近纪断裂越来越不发育,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.

(4)天然地震活跃.例如渤海地区,近代大地震震中大多分布在郯庐断裂沿线,在渤中坳陷周围,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 级的地震十分频繁.据分析,渤中地区地震震源深度约 20~40 km(龚再升和王国纯,2001).

(5)新构造运动形成的构造形式和晚期构造圈闭.在渤海,受新构造运动控制和改造,形成了大量构造圈闭,主要沿郯庐断裂及其控制隆起、凹陷的边界大断裂分布,包括披覆一反转复合背斜、反转背斜、逆牵引背斜、滑塌断裂背斜等.在珠江口盆地发育雁行排列的 NWW、近 EW 向正断裂带,沿着这些断裂上盘出现大量反向半背斜圈闭,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中新世末,在西湖坳陷、钓北坳陷,形成了数量众多、规模巨大的反转背斜带.

2 新构造运动的成因

新构造运动主要是由于板块运动或地球深处壳幔物质交替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,产生形变或形成断裂的结果。此外,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。因此,新构造运动的出现,在一个盆地或一定区域内是不均衡的,其规模也大小不一,表现形式多样。在中国近海,新构造运动具体有以下4种成因:(1)近代板块运动诱发的新构造运动。如东海盆地西湖拗陷中新世末反转构造,台湾岛及其周边因近代板块活动俯冲引起的新构造活动。(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的陆架、陆坡转折带断裂重新活动。(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。

3 新构造运动对油气藏形成的控制

在中国近海新生代盆地,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。这种晚期构造运动控制的油气成藏表现为动平衡成藏特征。由于新构造运动总是伴随着断裂活动,使已形成油气藏中的油气发生逸散,同时也发生新的充注,当供聚大于散失时,油气藏充满度高。当散失大于供聚时,油气藏充满度低,甚至遭到完全破坏。以下通过实例阐述新构造运动控制下的油气成藏与特征。

3.1 渤海新构造运动控制了渤中拗陷及其周围油气晚期成藏

渤中拗陷是华北含油气盆地发育发展的归宿(龚再升和王国纯,2001)。渤中地区强烈的新构造运动控制了油气的晚期成藏,主要表现在如下方面:

(1)新构造运动极大地改善了新近系的储盖组合。华北盆地其他地区,新近纪广泛接受周边高山、隆起区丰富的物源,大范围形成了冲积扇、河流、沼泽平原相沉积(米立军,2001),越靠近山前的地区岩性越粗,缺乏良好的储盖组合。而渤中拗陷相对远离物源补给区,同时新构造运动又加剧了这个拗陷的晚期沉降,使渤中拗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,使中新统馆陶组、明化镇组发育砂岩、泥岩互层,储盖组合条件得到极大改善,使馆陶组成为了华北盆地储盖组合条件最好的区域。

(2)渤中拗陷渐新统的东营组成为一套成熟优质烃源岩。渤中拗陷新构造运动加剧了晚期沉降,新近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,形成两套烃源岩,沙河街组尽管埋藏更深,但因上覆地层是快速沉降,埋藏时间短,且渤中拗陷地温梯度较低,使整个华北盆地普遍存在的这套生油岩在渤中拗陷仍然保留着良好的生烃潜力(黄正吉和李友川,2002)。东营组在渤中拗陷分布范围8 600 km²,沉积厚度最大4 000 m,暗色泥岩超过1 000 m,具有良好的烃源潜力。

(3)新构造运动改造、形成了大量的晚期构造圈闭。渤海含油区构造演化具多幕裂陷叠加的特点,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,包括披覆一反转复合型背斜、逆牵引型背斜、垮塌型背斜等圈闭,例如,PL19-3就是在新世末初具雏形,第四纪定型的披覆和反转型复合背斜构造(图2)。

(4)新构造运动形成晚期油气运移的输导网络。新构造运动促使渤中拗陷周围以郯庐断裂为代表的主要断裂在新近纪—第四纪重新强烈活动,并伴生了大量的NE、近EW的密集断裂网,这些断裂相互切割,沟通了沙河街、东营组油源向上运移,也沟通了前第三系与古近系、古近系与新近系之间的不整合面,同时沟通了区域性分布的馆陶组厚砂层,从而使断裂、不整合面、砂岩体共同组成油气输导系统,使渤中拗陷始新统、渐新统生成的油气通过油气运移输导网向周围隆起方向运移、聚集成藏(图2)。

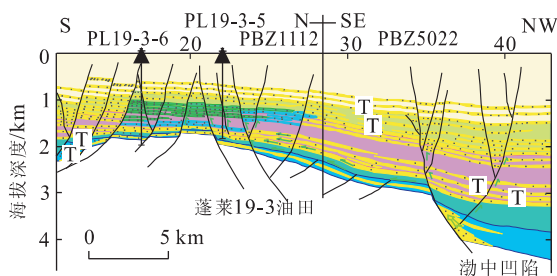


图2 PL19-3油田油气成藏模式

Fig. 2 Petroleum accumulation model for PL19-3 oil field in Bozhong area

(5)新构造运动决定了油气动平衡成藏.新近纪—第四纪—现在,新构造运动既促进油气沿断裂向上运移、成藏,同时又构成了已聚集油气的逸散通道.从 PL19-3、BZ29-4 等油气田的地震剖面上可以看到,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,尽管也有部分在逸散、渗漏,但整体上处于供聚大于散失的状态,使油气处于动平衡成藏.

3.2 莺歌海盆地底辟活动控制了天然气晚期成藏

莺歌海盆地新近纪以来强烈沉降,第四纪的沉积速率超过 1 000 m/Ma,最高可达 1 400 m/Ma (Hao *et al.*, 1995).快速沉降、欠压实、水热增压和生烃作用等多种因素的共同作用导致了强超压,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机制.

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,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(龚再升等,1997;殷秀兰等,2003),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,底辟活动在新近纪、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.

底辟作用在不同深度形成了上覆拱张背斜,这些构造形成在中新世末—上新世,一直延续至第四纪才定型.底辟活动在上覆地层中产生了高角度断裂和垂向裂隙系统,构成流体(包括天然气)穿层运移的主要通道.天然气聚集具有幕式、多期充注特点.从流体运动学的角度,幕式流体活动的最重要特征是流体流动的不连续性、流体活动过程中温度、压力的快速变化及流体活动的多期次性和周期性(Hao *et al.*, 2000).这种幕式充注过程可以通过成藏流体的层间非均质性、流体活动的瞬态温度响应等加以识别.东方 1-1 气田发育多个气层,不同气层之间烃类气体、氮气和二氧化碳的含量、甲烷和二氧化碳的同位素组成等存在巨大差异(图 3).这种成藏流体的层间组成非均质性反映了流体充注的多阶段性,并从充注流体的组成方面揭示了流体活动的不连续性.莺歌海盆地底辟构造带的流体活动引起了强烈的热异常,但流体活动的热效应具有明显

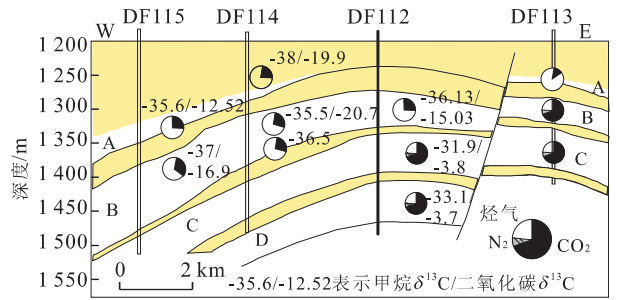


图 3 莺歌海盆地东方 1-1 气田天然气组成的层间非均质性(据李绪宣资料修改)

Fig. 3 Inter-reservoir compositional heterogeneities of Dongfang1-1 gas field, Yinggehai basin

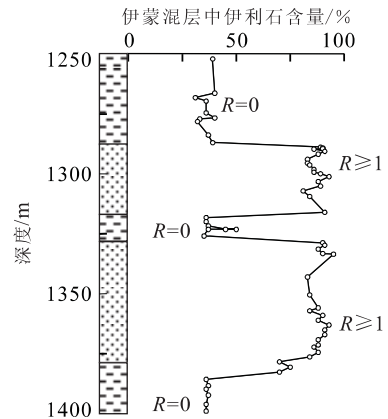


图 4 莺歌海盆地 DF1-1-3 井超压流体活动引起的砂岩粘土矿物成岩作用异常

Fig. 4 Anomaly of clay mineral diagenesis in sandstones caused by overpressured fluid activities in Well DF1-1-3 in the Yinggehai basin

的“瞬时”特征:(1)砂岩和泥岩段古地温的截然变化.如图 4 所示,在 DF1-1-3 井中,泥岩伊蒙混层(I/S)中伊利石的含量小于 45%,I/S 有序度 $R=0$;而砂岩段伊蒙混层中伊利石的含量大于 80%,I/S 有序度 $R \geq 1$.泥岩和砂岩段粘土矿物成岩作用的截然变化及其反映的古地温突变表明,热流体活动未明显影响储层之上泥岩的古地温,反映了流体活动的短时“瞬态”特征(Duddy *et al.*, 1994).(2)负地温梯度.砂岩与其下伏泥岩粘土矿物成岩转化程度的截然变化意味着砂岩的温度高于其下伏泥岩,因此地史时期曾出现“负地温梯度”(浅部地层温度高于下伏地层),表明热流体活动的持续时间很短(Ziagos and Blackwell, 1986).

莺歌海盆地的天然气聚集同样是供聚大于逸散的动平衡过程.由于莺歌海盆地中渐新统的海相泥

岩至今仍处于生烃高峰期,底辟活动还在持续发展,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、海底麻坑及地震剖面上的气烟囱、气裂隙等方面得到充分证实。

3.3 东海西湖坳陷新构造运动部分破坏了油气藏

西湖坳陷中央反转构造带本身是在中新世末才形成,以后才有油气运聚成藏,但由于上新世—更新世出现的新构造运动,产生了一批横切背斜构造的近EW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,晚期断裂分割控制油气藏的油水系统,不同断块含油气高度差别很大,使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。

4 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,笔者主持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。笔者认为一个含油气盆地总是通过最晚一期构造运动的改造、控制和调整,才形成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。

References

- Duddy, I. R., Green, P. F., Bray, R. J., et al., 1994. Recognition of the thermal effects of fluid flow in sedimentary basins. In: Parnell, J., ed., *Geofluids: Origin, migration and evolution of fluids in sedimentary basins*. *Geological Society Special Publication*, 78: 325—345.
- Gong, Z. S., Li, S. T., Xie, T. J., 1997. Continental margin basin analysis and hydrocarbon accumulation of the northern South China Sea. Science Press, Beijing, 510 (in Chinese).
- Gong, Z. S., Wang, G. C., 2001. Neotectonism and late hydrocarbon accumulation in Bohai Sea. *Acta Petrolei Sinica*, 22(2): 1—8 (in Chinese with English abstract).
- Hao, F., Li, S. T., Gong, Z. S., et al., 2000. Thermal regime, inter-reservoir compositional heterogeneities, and reservoir-filling history of the Dongfang gas field,

Yinggehai basin, South China Sea: Evidence for episodic fluid injections in overpressured basins? *AAPG Bulletin*, 84(5): 607—626.

- Hao, F., Li, S. T., Sun, Y. C., et al., 1995. Overpressure retardation of organic-matter maturation and hydrocarbon generation: A case study from the Yinggehai and Qiongdongnan basins, offshore South China Sea. *AAPG Bulletin*, 79: 551—562.

- Huang, Z. J., Li, Y. C., 2002. Hydrocarbon source potential of Dongying Formation in Bozhong depression, Bohai Bay basin. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 16(2): 102—106 (in Chinese with English abstract).

- Li, T. Y., 2000. Evolution of terrane tectonics in East Asia. *Science Development*, 28(10): 754—762 (in Chinese with English abstract).

- Mi, L. J., 2001. The neotectonism and major Neogene oil and gas fields in Bohai Sea. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 15(1): 21—28 (in Chinese with English abstract).

- Qiu, Z. J., Gong, Z. S., 1999. Petroleum exploration in China. Geological Publishing House, Petroleum Industry Press, Beijing, 1223 (in Chinese).

- Yin, X. L., Li, S. T., Yang, J. H., 2003. Digital simulation of structural stress field and flow field in DF1-1 diapir. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(3): 268—275 (in Chinese with English abstract).

- Ziagos, J. P., Blackwell, D. D., 1986. A model for the transient temperature geothermal system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 27(3): 371—397.

附中文参考文献

- 龚再升,李思田,谢泰俊,1997.南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集.北京:科学出版社,510.
- 龚再升,王国纯,2001.渤海新构造运动控制油气晚期成藏.石油学报,22(2): 1—8.
- 黄正吉,李友川,2002.渤海湾盆地渤中坳陷东营组烃源岩的烃源前景.中国海上油气(地质),16(2): 102—106.
- 李通艺,2000.东亚地体构造演化的回顾与展望.科学发展月刊,28(10): 754—762.
- 米立军,2001.新构造运动与渤海海域新近系大油气田.中国海上油气(地质),15(1): 21—28.
- 邱中建,龚再升,1999.中国油气勘探.北京:地质出版社,石油工业出版社,1223.
- 殷秀兰,李思田,杨计海,2003.DF1—1底辟区构造应力场及渗流场演化的数值模拟研究.地球科学——中国地质大学学报,28(3): 268—275.