

南海裂陷盆地中斜向伸展及其 油气勘探意义

张迎朝,袁冰

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司,广东湛江 524057)

摘要:利用海上钻井、地震等资料,重新认识南海珠江口盆地文昌B凹陷控凹边界南断裂构造变形史及动力学机制,探讨油气勘探意义。研究表明,渐新世—中新世,南断裂具有斜向伸展性质,在倾向剖面,断裂带发育挤压褶皱和破碎主位移带的构造样式;在走向剖面,相关地层呈“厚薄相间”分布。平面上,发育雁列式背斜与洼地共生、“马尾状”断裂体系和右阶斜列阶步断裂体系。斜向伸展动力学机制受控于区域伸展构造应力场与先存南断裂走向。南断裂渐新世—中新世斜向伸展变形,控制和影响了油气成藏要素、流体相态。

关键词:渐新世—中新世;斜向伸展;裂陷盆地;南断裂;珠江口盆地;南海

中图分类号:P618.130.2⁺⁷ **文献标识码:**A

裂陷盆地中斜向伸展构造变形可形成复杂的伸展—走滑构造系统,是构造地质学、石油地质学研究的前沿问题之一^[1,2],它控制和影响了含油气系统的形成与油气分布,在油气勘探中具有重要意义。自斜向伸展(oblique extension)概念提出以来,其在油气勘探中的意义得到了广泛关注^[3-5]。

文昌B凹陷位于南海东北部珠江口盆地,其构造演化划分为古新世—早渐新世裂陷、晚渐新世—中中新世断拗和晚中新世以来的裂后热沉降3个阶段^[6-9]。

南断裂是控制文昌B凹陷的边界断裂(图1)。对于南断裂构造变形机制,多数学者认为以

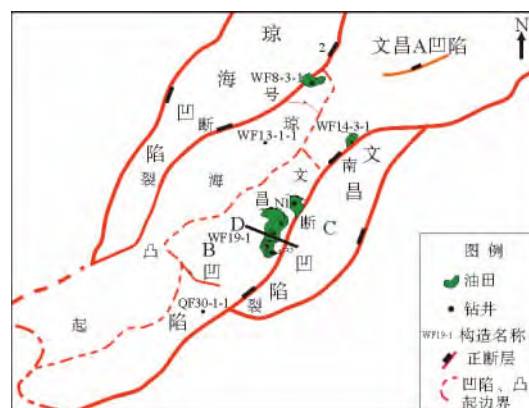


图1 珠江口盆地文昌B凹陷构造位置

Fig. 1 The tectonic location of Wenchang B Sag in Pearl River Mouth Basin

收稿日期:2013-10-22

基金项目:国家“十二五”科技重大专项“南海西部海域富生烃凹陷资源潜力再评价和新区、新领域勘探方向”(2011ZX05023-001-007)

作者简介:张迎朝(1971—),男,博士,高级工程师,主要从事南海层序地层与沉积学、构造地质学和油气成藏综合研究工作。E-mail:zhangyingzh@cnooc.com.cn

伸展动力学成因为主^[10,11]。然而,三维地震资料显示,南断裂带渐新统一中新统发育不少构造变形,如雁列式褶皱、马尾状断裂、右阶斜列阶步等,难以用简单伸展(simple orthogonal extension)动力学机制解释,而这些构造变形明显控制和影响了该区油气成藏要素、油气分布与储量规模。因

此,南断裂构造变形机制问题,不仅是理论问题,也是勘探生产问题,针对这一问题的研究,不仅能够丰富裂陷盆地成因机制认识,也有助于指导文昌B凹陷的油气勘探实践。本文在层序地层展布分析基础上,从构造几何学、运动学入手,按照构造演化的线索,分析文昌B凹陷南断裂构造样式、断裂体系及动力学成因,探讨南断裂构造变形及其与油气关系。

1 文昌B凹陷南断裂构造样式与断裂体系

1.1 构造样式

南断裂走向 NNE, 断裂面倾向 NWW, 西缓东陡, 断裂面陡倾切入基底。

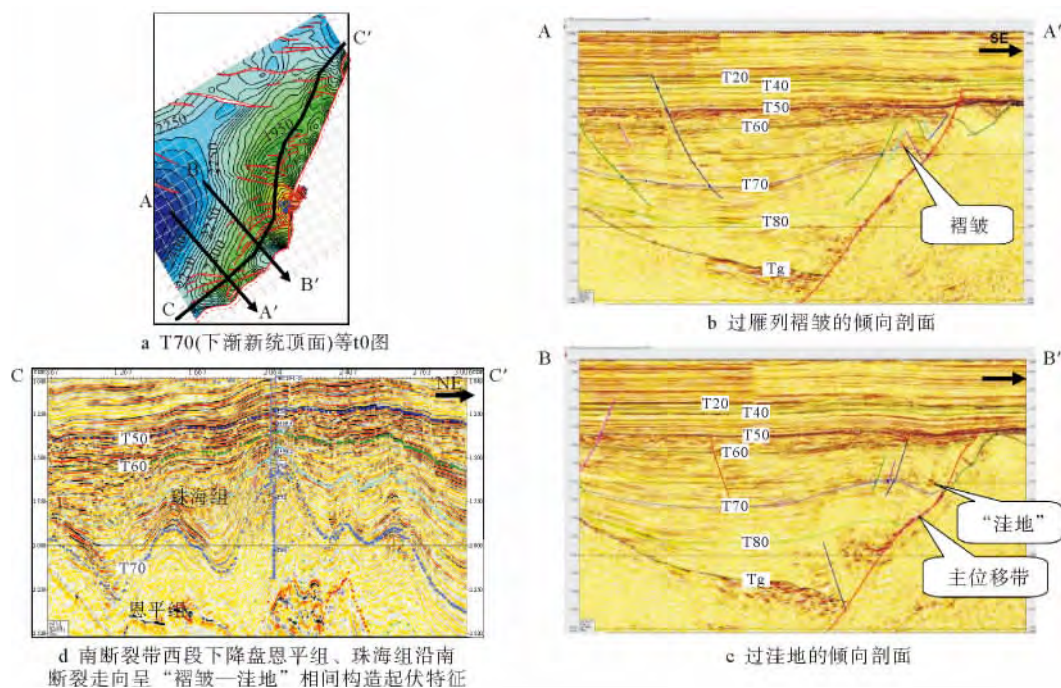


图2 文昌B凹陷南断裂下降盘构造样式

Fig. 2 The footwall structure styles of South Fault, Wenchang B sag

(3)在中中新世,因右旋走滑作用,发育挤压褶皱背斜构造样式(图3),有别于逆牵引滚动背斜构造样式。

1.2 断裂体系

(1)古新世—始新世,南断裂为伸展性质,呈

(1)古新世—始新世表现为伸展断裂样式。

(2)渐新世以伸展—走滑构造样式为主。自早渐新世,珠江口盆地区域构造应力场由古新世—始新世 NW—SE 向最小主压应力转变为 S—N 向最小主压应力,而文昌B凹陷南断裂走向呈 NNE—SSW,伸展构造应力方向与断裂面走向的夹角约 20° ,沿南断裂断面的力偶产生同向剪切,派生出褶皱构造样式与伸展断裂构造样式,且二者共生相间排列(图2)。因此,南断裂早渐新世呈现伸展—右旋走滑构造变形特征。因伸展—走滑变形,南断裂下降盘下渐新统、始新统地层倾向与南断裂面倾向相同(挤压抬升区)或相反(伸展区)。向南断裂面方向,下渐新统恩平组和上渐新统珠海组厚度局部减薄或增厚,沿南断裂走向下渐新统恩平组和上渐新统珠海组厚度呈“褶皱薄、洼地厚”相间构造样式(图2)。

现 NE 或 NNE 走向伸展断裂特征。

(2)渐新世,在 S—N 向区域伸展应力作用下,NNE 走向南断裂转变为伸展—走滑性质,渐新统呈现“挤压褶皱”和“洼地”共生构造,沿南断裂分布(图4)。

(3)早中新世,在 S—N 向或 SSW—NNE 向

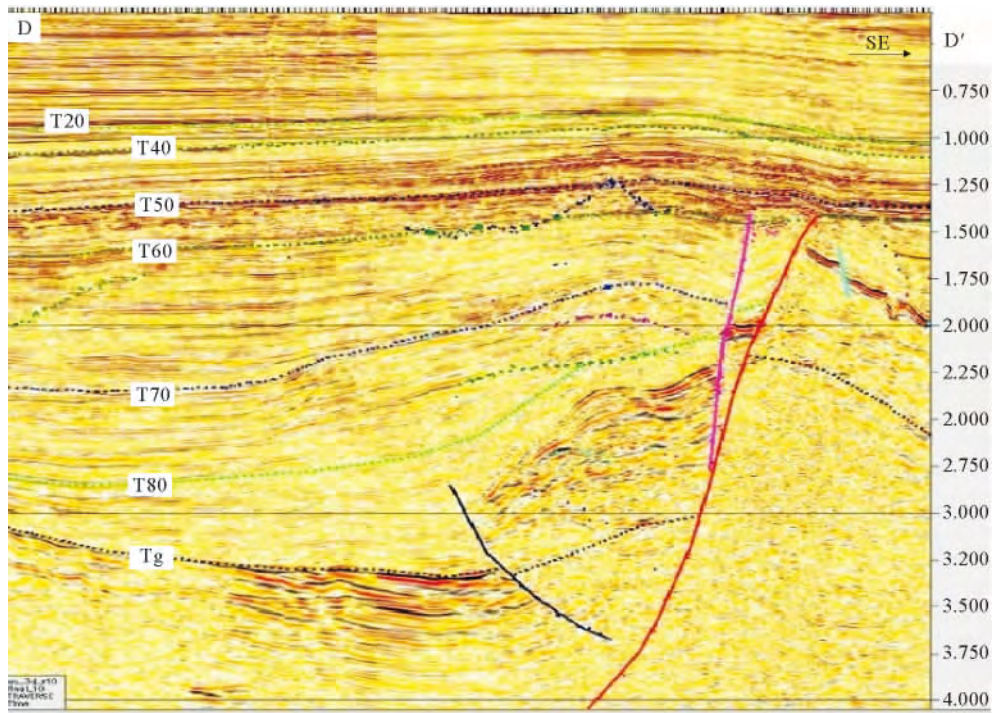
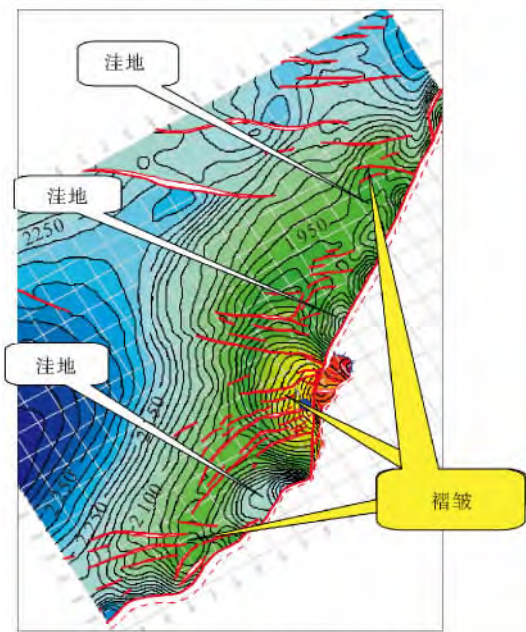


图 3 文昌 B 凹陷下中新统珠江组(T40—T60)挤压背斜构造样式

Fig. 3 The squeezed anticline style of Zhujiang Formation(T40-T60) of lower Miocene



注:本图为T70(下渐新统顶面)等t₁图

图 4 沿南断裂渐新统呈现“褶皱”和“洼地”构造共生

Fig. 4 The distribution of folds and depressions of the Oligocene along South Fault

区域伸展构造应力作用下,发育 E—W 走向或 NWW 走向为主的断裂体系,呈“右阶斜列式”分

布,是伸展—走滑伴生构造。

(4)中中新世,南断裂带因右旋走滑形成挤压褶皱,中新统发育大型挤压背斜,也发育“右阶斜列”阶步断裂体系(图 5)。

综上,在古新世—始新世,南断裂以伸展作用为主;在早渐新世(35 Ma),转化为伸展—走滑作用为主,产生挤压褶皱、地层抬升和洼地;至中中新世,转化为右旋走滑作用为主,发生局部挤压褶皱,中新统发育大型背斜。

2 裂陷盆地中斜向伸展变形机制探讨

在南断裂带动力学机制上,古新世—始新世时,太平洋板块向珠江口盆地所在的南海东北部汇聚,使大陆岩石圈向东南方向蠕散,地幔上涌使脆性的上地壳破裂,塑性的下地壳受到水平拉张,地壳减薄^[12],以(N)NW—(S)SE向伸展作用为主。至早渐新世,受南海区地幔对流、陆壳破裂与海底扩张的影响,珠江口盆地受到 S—N 向最小主压应力作用,与始新世发育起来的(N)NE 走向的南断裂方向斜交,夹角<45°,产生斜向伸展,发

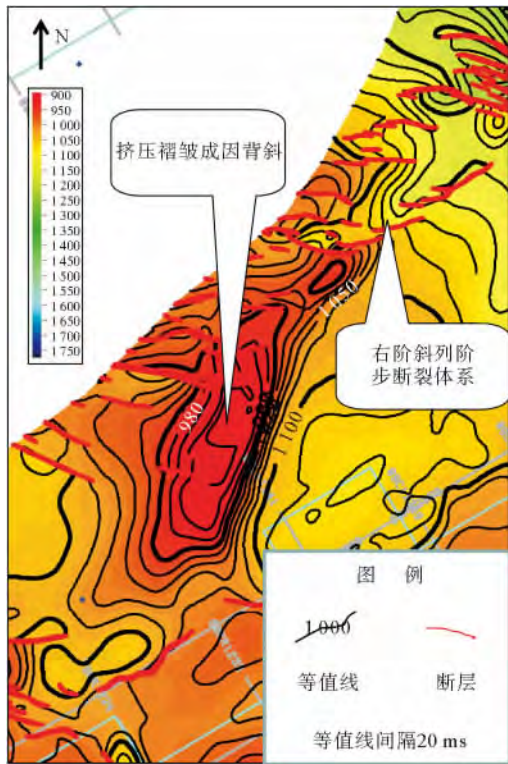


图 5 珠江口盆地文昌 B 凹陷 T40(下中新统顶部)等 t0 图
 Fig. 5 The structural map(TWT) of T40
 (The top of the lower Miocene)in Wenchang B Sag

生伸展—右旋走滑变形(图 6)。构造物理模拟试验证实,在裂陷盆地中,先存断裂或基底发育的大断裂,往往是构造薄弱带,在后期构造应力作用下

易复活^[13]。因此,NE—NNE 向南断裂在 S—N 向伸展应力下表现为伸展—走滑的复活,且南断裂复活过程中,断裂走向与伸展方位夹角越小的区段,具有更显著的右旋走滑分量,如雁列式挤压褶皱和洼地共生构造组合,其中褶皱长轴与南断裂走向近平行。中中新世—早上新世,受东沙运动影响,南断裂带因右旋走滑作用形成“挤压褶皱”,中新统发育背斜构造。渐新世—中新世,南断裂伸展—走滑变形是区域伸展构造应力方向与先存南断裂走向小角度($<45^\circ$)斜交的产物。对类似构造应力场演化背景的含油气盆地分析、构造解析具有重要理论指导价值。

3 油气勘探意义

裂陷盆地中含油气系统的形成往往与起控制作用的边界大断裂幕式活动演化密切相关^[14]。在顺时针转换伸展构造应力背景下,文昌 B 凹陷南断裂斜向伸展构造变形对烃源岩埋藏与成熟演化、圈闭形成、油气运聚等产生了重要影响。

古新世—始新世,南断裂伸展作用最强,发育了文昌组半深湖相页岩优质烃源岩。自早渐新世(35 Ma),南断裂开始斜向伸展,由先期伸展作用转化为伸展—走滑作用,且走滑作用为主,发生挤压抬升和褶皱,使文昌组抬升,渐新统恩平组、珠海组沉积薄,也形成了雁列排列的渐新统背斜、断

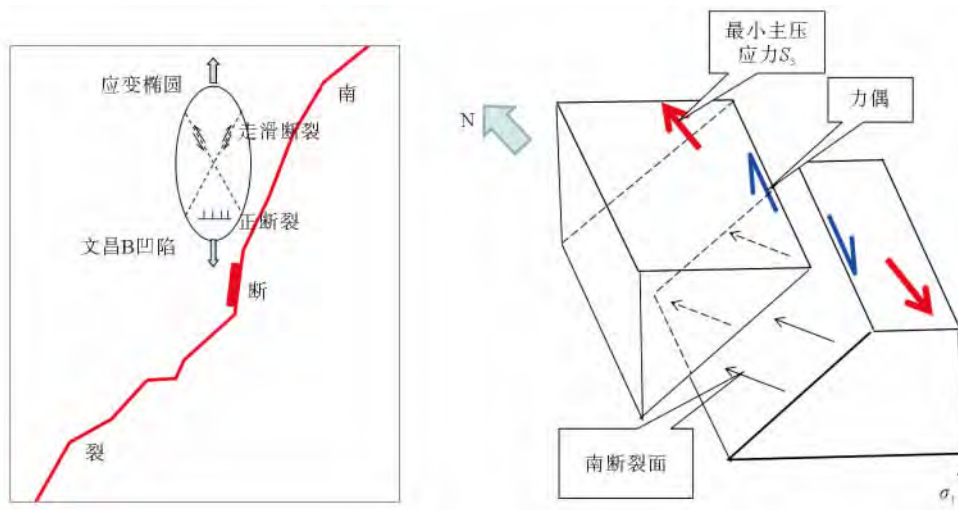


图 6 珠江口盆地文昌 B 凹陷早渐新世南断裂斜向伸展示意图
 Fig. 6 Oblique extension South Fault of during early Oligocene, in Wenchang B Sag, Pearl River Mouth Basin

鼻圈闭。在中中新世,南断裂转化为以右旋走滑作用为主,发生挤压褶皱,中新统发育大型背斜圈闭。由于早渐新世—中新世以走滑作用为主,文昌组、恩平组埋藏浅,W19-1油田区文昌组烃源岩现今 R_o 为0.6%~1.2%,仍处于油窗,与发现的油气田以产油为主一致^[15]。文昌19区油—源对比分析表明,原油来自始新统文昌组湖相烃源岩。在文昌B凹陷南断裂带,以寻找来自始新统文昌组湖相烃源岩生成的“文昌型”油藏为主。

此外,因始新统文昌组挤压抬升,改变了传统断陷湖盆陡坡带油气运聚分配模式。文昌组烃源岩地层倾向与南断裂倾向相同,有利于文昌组烃源岩生成的油气向陡坡带运聚;从油气运移分隔槽考虑,文昌组的抬升使得运移分隔槽向文昌B凹陷北部迁移,扩大了文昌组烃源岩对陡坡带的贡献^[16]。随着勘探开发进程深入,W19-1油田含油范围持续扩大,成为南断裂带探明原油储量最大的油田。

因早渐新世以来南断裂以走滑作用为主,古近系珠海组、恩平组埋藏较浅,储层物性好,油气产能高^[17],是下步重要勘探层系。

中中新世的右旋走滑作用形成了大型中新统背斜圈闭,成为W19-1油田主力油气聚集单元;伸展应力分量形成的NWW向断裂体系向深部切入始新统文昌组烃源岩,成为新近系油藏沟源断裂。

4 结论

(1)渐新世—中新世,珠江口盆地文昌B凹陷南断裂发生斜向伸展,具有伸展—右旋走滑变形特征:倾向剖面上,南断裂下降盘呈现挤压褶皱;走向剖面上,相关地层呈“厚薄相间”构造样式;平面上,南断裂具有“马尾状”断裂体系、右阶斜列式断裂体系和雁列式褶皱与洼地相间的特征。

(2)早渐新世(35Ma)以来,南断裂的斜向伸展,受控于顺时针转变的区域伸展构造应力场方向及始新世先存南断裂走向。渐新世—早中新世,南断裂伸展—走滑断裂体系受控于S—N向区域最小主压应力方向与先期NNE走向断裂小角度斜交;中中新世以来右旋走滑断裂体系受控

于NNE—SSW向最小主压应力方向与渐新世—早中新世NNE走向先存断裂平行或接近平行。

(3)早渐新世—中中新世南断裂伸展—右行走滑构造变形,对文昌B凹陷油气生成、陡坡带油气运聚分配、主力储盖组合的埋藏与储集物性、圈闭形成与叠置等油气成藏要素、油气分布起了重要控制作用。

参考文献:

- [1] Withjack M O, Jamison W R. Deformation produced by oblique rifting [J]. *Tectonophysics*, 1986, 126: 99-124.
- [2] Clifton A E, Schlische R W, Withjack M O. Influence of rift obliquity on fault-population systematics: results of experimental clay models [J]. *Journal of Structural Geology*, 2000, 22: 1 491-1 509.
- [3] 蔡东升, 罗毓晖, 姚长华. 渤海莱州湾走滑拉分凹陷的构造研究及其石油勘探意义 [J]. *石油学报*, 2001, 22 (2): 19-25.
- [4] 漆家福. 渤海湾新生代盆地的两种构造系统及其成因解释 [J]. *中国地质*, 2004, 31(1): 15-22.
- [5] 陈书平, 吕丁友, 王应斌, 等. 渤海盆地新近纪—第四纪走滑作用及油气勘探意义 [J]. *石油学报*, 2010, 31(6): 894-899.
- [6] 龚再升, 李思田, 谢俊泰, 等. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 44-126.
- [7] 朱伟林, 黎明碧, 吴培康. 珠江口盆地珠三拗陷石油体系 [J]. *石油勘探与开发*, 1997, 24(6): 21-23.
- [8] 崔莎莎, 何家雄, 陈胜红, 等. 珠江口盆地发育演化特征及其油气成藏地质条件 [J]. *天然气地质学*, 2009, 20(3): 384-391.
- [9] 何家雄, 陈胜红, 马文宏, 等. 南海东北部珠江口盆地成生演化与油气运聚成藏规律 [J]. *中国地质*, 2012, 39(1): 106-118.
- [10] 陈桂华. 珠江口盆地珠三拗陷南边界断裂发育方式分析及其意义 [J]. *海洋石油*, 2002(3): 33-38.
- [11] 姜华, 王华, 李俊良, 等. 珠江口盆地珠三拗陷断层特征及其对油气成藏的控制作用 [J]. *石油实验地质*, 2008, 30(5): 460-466.
- [12] 刘光鼎. 中国海地球物理场与油气资源 [J]. *地球物理学进展*, 2007, 22(4): 229-237.
- [13] Abbas B, Hemin A K, Chrisopher J T. Effect of ductile and frictional decollements of style of extension [J]. *Journal of structural Geology*, 2003, 25(9): 1 401-1 423.
- [14] 杨懋新, 张晓东, 费平, 等. 乌尔逊凹陷西部边界断裂的幕式演化模式及其对含油气系统的控制作用 [J]. *世界地质*, 2009, 28(4): 503-507.
- [15] 张迎朝. 珠江口盆地西部南断裂带油气成藏特征与成藏模式 [J]. *石油地球物理勘探*, 2012, 47(5): 786-794.
- [16] 张迎朝, 李绪深, 陈志宏, 等. 珠江口盆地文昌B凹陷及周边油气成藏特征与有利勘探领域 [J]. *石油实验地质*,

2011, 33(3): 297-302.

段海侵扇三角洲储层特征及油气成藏特征[J]. 矿物岩石,

[17] 张迎朝, 陈志宏, 李绪深, 等. 文昌 B 凹陷陡坡带珠海组二

2011, 31(2): 86-95.

OBLIQUE EXTENSION DEFORMATION WITHIN A RIFT BASIN AND ITS SIGNIFICANCE OF HYDROCARBON EXPLORATION

ZHANG Yingzhao, YUAN Bing

(Zhanjiang Branch of CNOOC Ltd., Zhangjiang 524057, Guangdong, China)

Abstract: Based on drilling well and 3D seismic data of the Wenchang B Sag in the Pearl River Mouth Basin, the tectonic deformation history and dynamic mechanism of the South Fault were reanalyzed. The study shows that the South Fault was characterized by oblique extension during Oligocene and Miocene. On the dip of seismic sections, the South Fault are associated with some specific structural styles, such as squeezed fold and fractural displacement zone. On the strike of seismic sections, the related strata show wavelike lateral extension with thin sediments on “wave peak” and thick sediments in “wave valley”. In a plane view, there exist echelon anticlines and depressions, horsetail faults and right diagonal step faults in the Oligocene. The deformation of oblique extension is supposed to be controlled by a regional extension tectonic stress field and the existing early boundary fault. The oblique extension deformation of the South Fault has important effects on the hydrocarbon pools and hydrocarbon phases.

Key words: Oligocene-Miocene; oblique extension; rift basin; South Fault; Pearl River Mouth Basin; South China Sea