

# 珠江口盆地珠一坳陷始新世中-晚期构造变革特征及成因

胡阳<sup>1</sup>, 吴智平<sup>1</sup>, 钟志洪<sup>2</sup>, 张江涛<sup>3</sup>, 于伟高<sup>1</sup>, 王光增<sup>1</sup>, 刘一鸣<sup>1</sup>, 王守业<sup>1</sup>

[1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 2. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东 广州 510240; 3. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300450]

**摘要:**通过不整合面、断裂体系和盆地构造格局的综合分析,研究珠一坳陷早-中始新世与晚始新世-早渐新世之间的构造变革特征,探讨构造转型机制。印支半岛的旋转挤出及古南海向南俯冲,造成了区域应力场由NW向顺时针转变为近SN向拉张,导致了NE和NEE向断裂控盆向近EW和NWW向断裂控盆转变,且发育大量近EW向新生断裂。岩石圈伸展变形由均一式的宽裂谷模式向集中式的窄裂谷模式转变,且向南海北部大陆边缘迁移,造成了盆地格局由彼此孤立、分割性强的半地堑或窄地堑系趋于相互连通,盆地范围增大。在近SN向拉张作用下,珠一坳陷北缘控盆断裂作为北部的拉伸边界,为先存薄弱带,应力较集中,断裂活动强烈且明显向北扩展,沉降中心整体向北迁移。裂陷期盆地构造变革造成了文昌组与恩平组烃源岩特征的差异,导致了油气资源分布的贫富不均。

**关键词:**半地堑;裂谷;构造变革;始新世中-晚期;珠一坳陷;珠江口盆地

**中图分类号:**TE121.2

**文献标识码:**A

## Characterization and genesis of the Middle and Late Eocene tectonic changes in Zhu 1 Depression of Pearl River Mouth Basin

Hu Yang<sup>1</sup>, Wu Zhiping<sup>1</sup>, Zhong Zhihong<sup>2</sup>, Zhang Jiangtao<sup>3</sup>, Yu Weigao<sup>1</sup>, Wang Guangzeng<sup>1</sup>, Liu Yiming<sup>1</sup>, Wang Shouye<sup>1</sup>

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266580, China; 2. CNOOC Shenzhen Branch, Guangzhou, Guangdong 510240, China; 3. CNOOC Tianjin Branch, Tianjin 300450, China)

**Abstract:** Comprehensive analyses of unconformities, faulting systems and basin tectonic framework were carried out to characterize tectonic transformation mechanisms during the periods of Early-Middle Eocene and Late Eocene-Early Oligocene in the Zhu 1 Depression of Pearl River Mouth Basin. The results show that the Indochina block's rotation and extrusion and southward subduction of the proto-South China Sea resulted in a regional stress field clockwise change from NW- into SN-extension, and a shift in fault-controlled basin from NE- and NEE-trending to near EW and NWW-trending, with numerous new faults of EW-trending developed. The lithosphere extensional deformation transformed from homogeneous wide rift mode to centralized narrow rift mode, and migrated to north margin of the South China Sea. As a result, the Basin expanded as the isolated half-grabens or narrow grabens tended to get connected. Under a SN-trending stretching, the stretch boundary at the north of the depression was defined by basin-controlling faults. As a pre-existing weak zone with concentrated stress, the northern margin experienced strong and northward faulting and significantly spread northwards, causing the sedimentary center migrating northward as well. The tectonic changes during the faulting activities of the Basin may explain the characteristic differences of the two source rocks: the Wenchang and the Enping Formations, as well as the disparity of oil and gas distribution in the area.

**Key words:** half-graben, rift, tectonic transformation, Middle-Late Eocene, Zhu 1 Depression, Pearl River Mouth Basin

珠江口盆地珠一坳陷位于南海北部大陆边缘,构造位置处于印度-澳大利亚板块、欧亚板块和太平洋板块交汇处,是新生代形成的被动陆缘伸展盆地<sup>[1]</sup>。

珠一坳陷的发育整体经历了始新世-早渐新世的裂陷期、晚渐新世-早中新世的裂后拗陷期及中中新世以来的构造活化期3个演化阶段,形成了下断上拗、先陆

收稿日期:2016-06-29;修订日期:2016-08-29。

第一作者简介:胡阳(1986—),男,博士研究生,地质学。E-mail: huyangsq052@163.com。

基金项目:中海石油(中国)有限公司重大科技攻关项目(YXKY-2012-SZ-01);中央高校基本科研业务费专项资金项目(13CX06015A)。

后海的构造-沉积响应特征<sup>[2-3]</sup>。就裂陷期构造演化而言,主要经历了早-中始新世的珠琯运动一幕和晚始新世一早渐新世的珠琯运动二幕两期构造运动。目前对于裂陷期发生的两期构造运动主要存在以下两种认识:①盆地两幕裂陷作用是渐进式继承性的演化过程,构造格局未发生明显的变化,期间盆地仅仅经历了一次隆升,形成不整合面  $T_8^0$ <sup>[4-6]</sup>;②盆地裂陷期经历了早-中始新世与晚始新世一早渐新世两幕特征明显不同的裂陷作用<sup>[1,7-11]</sup>。可见,两幕构造运动在盆地演化中起到的影响作用尚缺乏系统的分析。已有勘探实践表明,珠一坳陷是一个已证实的富生烃坳陷,早-中始新统文昌组和晚始新统一早渐新统恩平组是研究区主力烃源岩层系<sup>[12-13]</sup>。裂陷期盆地构造演化不仅控制了盆地的构造格局,也控制了烃源岩的发育及展布,同时制约了油气藏的形成与分布。鉴于此,本文在三维地震资料精细解释基础上,通过对断裂体系、盆地构造格局和沉降中心的综合研究,明确裂陷期盆地转型过程,进而探讨构造转型机制,以期进一步明确珠江口盆地裂陷期演化叠合过程,最终促进对盆地含油气性规律的认识。

## 1 地质概况

珠江口盆地整体呈 NE 向展布,表现为南北分带、东西分块的构造格局。自北向南可划分为北部隆起带、北部坳陷带、中央隆起带、南部坳陷带和南部隆起带 5 个构造单元<sup>[2]</sup>。珠一坳陷位于盆地北部坳陷带内,包括了恩平凹陷、西江凹陷、惠州凹陷、韩江凹陷和陆丰凹陷(图 1)。盆地构造格架表现为 NE 向、NEE 向、NNW 向和近 EW 向断裂控制半地堑或地堑群,其中西南部的恩平凹陷和西江凹陷以 NE 向、NEE 向和

近 EW 向断裂控盆为主,而东北部惠州凹陷则以近 EW 向和 NNW 向断裂控盆为主(图 1)。地震及钻测井资料揭示,珠一坳陷自下而上可划分为中生代基底构造层、始新世一早渐新世裂谷构造层和晚渐新世以来的漂移构造层。其中裂谷构造层钻遇的地层包括下-中始新统文昌组和上始新统一早渐新统恩平组,为一套受半地堑或地堑结构控制的陆相河流-湖泊沉积,文昌组与上覆恩平组以明显角度不整合面  $T_8^0$  接触<sup>[1]</sup>。

## 2 构造变革特征

### 2.1 不整合面发育特征

不整合面是构造运动在沉积地层中的直接记录<sup>[14]</sup>,其形成往往与两幕构造调整事件密切相关<sup>[15]</sup>。研究区裂陷构造层早-中始新统(文昌组)与晚始新统一早渐新统(恩平组)之间以明显区域角度不整合面( $T_8^0$ )接触, $T_8^0$  不整合面为珠琯运动一幕向珠琯运动二幕构造转型形成的,主要发育削平、削超和褶皱 3 种不整合样式(图 2)。

恩平凹陷以削平不整合样式为主。控盆断裂上盘文昌组发生强烈断块旋转,翘倾部位遭受明显削截,削截现象几乎波及整个洼陷,恩平组较平缓披覆于  $T_8^0$  界面之上(图 2a)。西江凹陷以褶皱不整合样式为主。主控断裂上盘发育大型滚动背斜,靠近边界断裂一侧的背斜地层较厚,而另一侧地层较薄,体现了同沉积滚动背斜的特征。背斜顶面遭受明显的削截,恩平组超覆于背斜之上,产状较平缓(图 2b)。在惠州凹陷,南、北边界断裂倾角较陡,基底沉降量大,但即便如此,洼陷中心  $T_8^0$  界面之下仍可见少量削截现象,恩平组超覆于文昌组之上现象亦十分明显,表现为削超不整合样式(图 2c)。同时在局部洼陷断块旋转强烈,洼陷边缘可见  $T_8^0$  界面之下削截现象,之上地层与不整合面基本平行,表现为削平不整合样式(图 2d)。综上所述, $T_8^0$  界面上下地层间呈现大角度相交,记录了两幕裂陷作用间的构造变革事件。西南部恩平凹陷和西江凹陷剥蚀程度大于东北部惠州凹陷,反映了受力方向主要来自西南部。

### 2.2 断裂体系特征

珠一坳陷裂陷期主要发育 NE 向、NEE 向、NNW 向和近 EW 向断裂,不同裂陷幕的断裂发育特征存在明显差异。

早-中始新世裂陷幕(文昌组沉积时期),以 NE 向和 NEE 向断裂发育为主,同时发育一系列近 EW 向和 NNW 向断裂(图 3a)。其中 NE 向断裂活动强度最大(可达 250 m/Ma 以上),NEE 向断裂活动强度次之(约 200 m/Ma),近 EW 向断裂较弱(约 80 m/Ma),

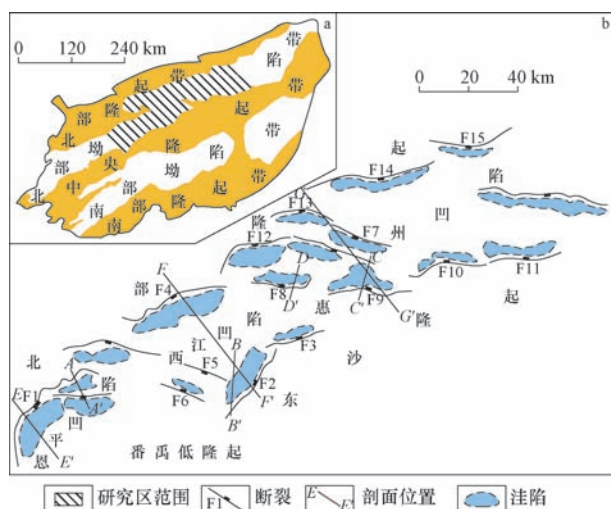


图 1 珠一坳陷区域位置(a)及构造简图(b)

Fig. 1 Location (a) and structure outline (b) of the Zhu 1 Depression



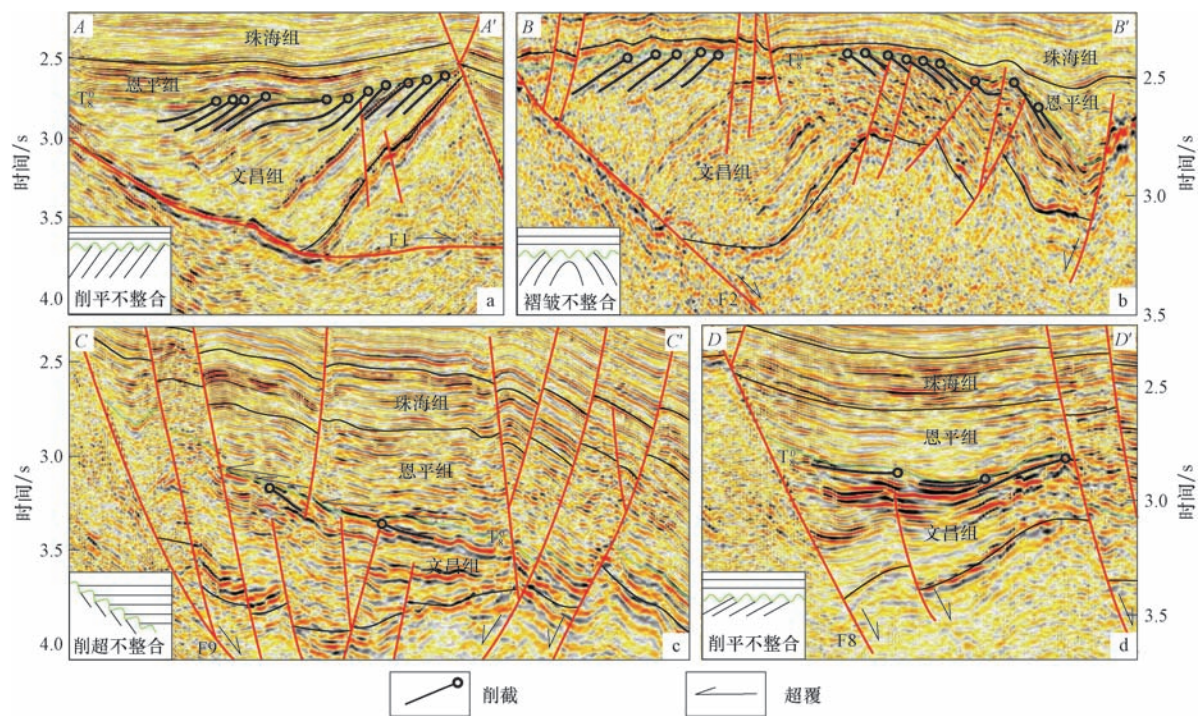


图 2 珠一坳陷  $T_8^0$  不整合面地震反射特征(剖面位置见图 1)

Fig. 2 Seismic reflection characteristics of  $T_8^0$  unconformity in the Zhu 1 Depression ( see Fig. 1 for the profile location)

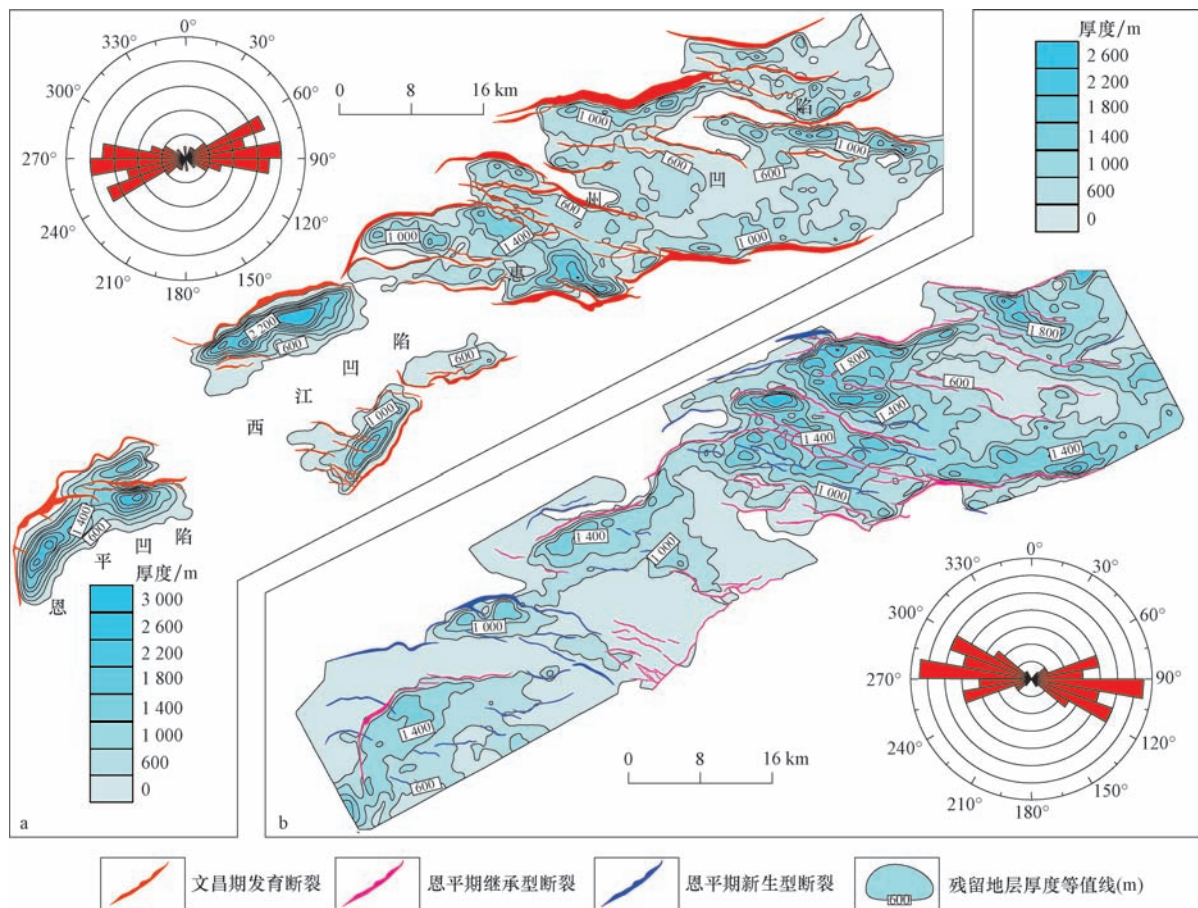


图 3 珠一坳陷裂陷期主要同沉积断裂及残余地层厚度

Fig. 3 Distribution of major syndepositional faults and residual strata thickness during rifting in the Zhu 1 Depression

a. 文昌组沉积期;b. 恩平组沉积期



NWW 向断裂活动性最弱(约 50 m/Ma)(图 4),反映了 NW-SE 向拉张作用。晚始新世-早渐新世裂陷幕(恩平组沉积时期),断裂的发育面貌与前期发生了重大的变革。同沉积断裂以近 EW 向和 NWW 向为主,NE 向和 NEE 向断裂继承性发育。就断裂活动强度而言,近 EW 向断裂活动最强,NWW 向断裂活动强度次之,先期活动强度较强的 NE 向和 NEE 向控盆断裂活动性趋于减弱(图 4),反映了近 SN 向的拉张作用。

### 2.3 盆地构造格局转型

在不同区域动力背景下发生的两幕裂陷作用具有明显不同的裂陷特征。文昌组沉积时期,以 NE 向、NEE 向和近 EW 向断裂控盆为主,盆地格局表现为半地堑或窄地堑结构,洼陷分布面积小、彼此孤立且分割性强,呈现“群山环湖,群湖抱山”古地貌特征(图 3a)。恩平组沉积时期,控盆断裂以近 EW 向和 NWW 向为主,盆地格局表现为高角度板式或铲式半地堑结构,断

块旋转较弱,洼陷间的分割性弱,地势较平缓(图 3b)。除此之外,在北部隆起上发育一系列新生近 EW 向断裂,湖盆范围明显向北扩展(图 3,图 5)。

可见,珠一坳陷裂陷期构造格局的转变造成了相应的盆地转型。其中西南部恩平凹陷和西江凹陷由 NE 向、NEE 向断裂控盆转变为近 EW 向、NWW 向断裂控盆(图 3b),且早期孤立的半地堑开始相互连通,裂陷作用向北扩展,湖盆范围显著增大(图 3b,图 5a,图 5b),形成了裂陷期 NE 向、NEE 向、NWW 向和近 EW 向断裂共同控制的构造格局。由于受断裂差异性发育的影响,沉降中心也由 NE 向、NEE 向展布向近 EW 向、NWW 向展布转变(图 3)。东北部惠州凹陷控盆断裂的展布方向虽然没有发生变化,但南、北边界断裂的活动强度存在明显交替变化,盆地构造格局由南断北超不对称地堑向北断南超不对称地堑转型,沉降中心也由南向北迁移,同时盆地主体向北扩展,形成了裂陷期反向楔形叠置的构造格局(图 5c)。

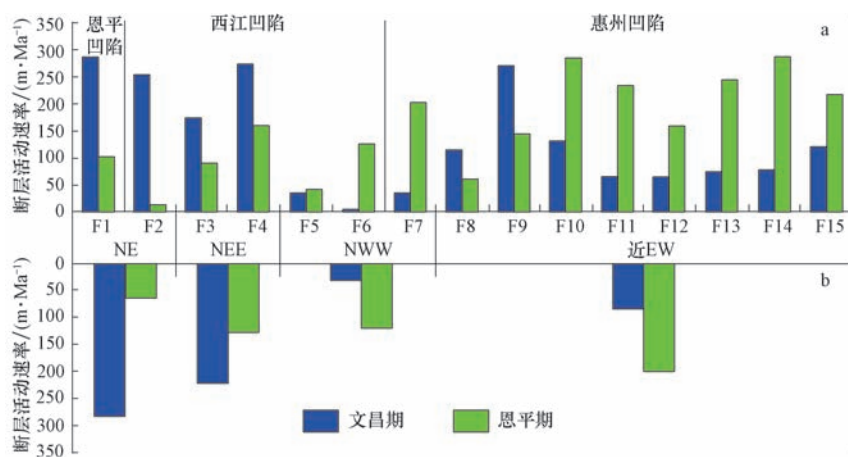


图 4 珠一坳陷裂陷期各主干断裂活动速率(a)及不同走向断裂活动速率(b)

Fig. 4 Rates of major faulting (a) and faulting of different striking (b) during the rifting stage of the Zhu 1 Depression

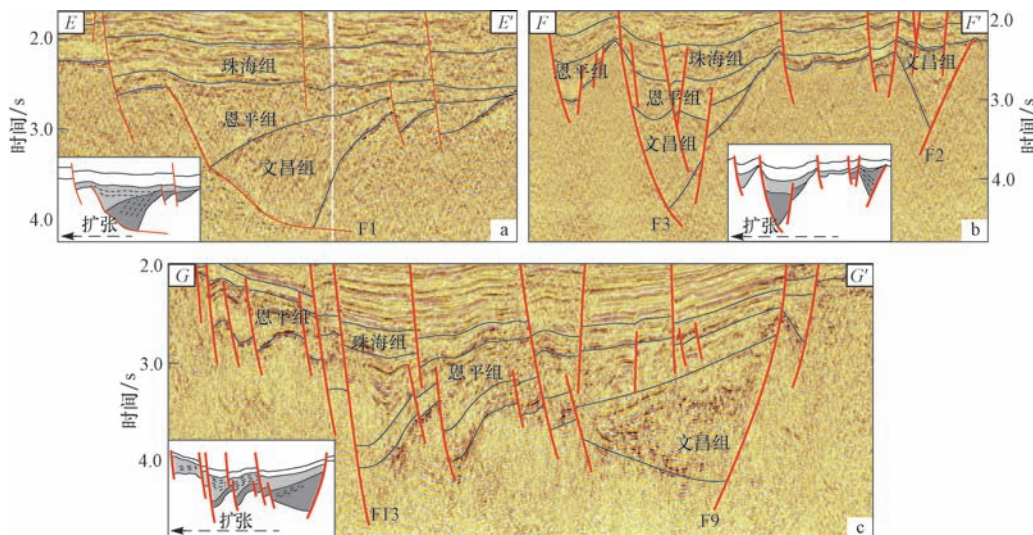


图 5 珠一坳陷两幕裂陷作用形成的盆地构造格局特征(剖面位置见图 1)

Fig. 5 Characteristics of basin structural pattern of two rifting stages in the Zhu 1 Depression (see Fig. 1 for the profile location)

### 3 构造变革成因机制

上述研究表明,珠一坳陷裂陷期经历了两幕特征明显不同的裂陷作用,盆地的断裂体系、应力体制、构造格局与沉降中心等均发生明显变化,反映了两幕裂陷作用受控于不同的区域构造背景及岩石圈的差异伸展机制。

早-中始新世(文昌组沉积时期),在印度板块俯冲的背景下,太平洋板块俯冲速率降低及俯冲带后撤<sup>[16-17]</sup>,导致包括珠江口盆地在内的南海北部陆缘由挤压环境转变为NW-SE向拉张环境(图6a),发生区域性的裂陷作用<sup>[18-19]</sup>。

珠江口盆地新生代裂陷前处于中生代活动大陆边缘构造体系,自华南陆缘至古俯冲带发育了火山弧带及宽阔的弧前区。其中北部裂谷带位于火山弧区,以发育加厚地壳与减薄的岩石圈地幔为特点,而南部裂谷带则处于宽阔的弧前区,具有正常地壳与地幔岩石圈结构<sup>[1]</sup>。就北部裂谷带内的珠一坳陷而言,NW-SE向伸展应力场作用于加厚地壳-正常地壳的条件下,岩石圈强度较弱,呈现均一性伸展且变形范围较大,表现为宽裂谷的伸展模式<sup>[20]</sup>,形成了以NE向、NEE向断裂控制的半地堑为结构单元的断陷盆地群。各个半地堑间彼此孤立且分割性强,内部断块旋转明显(图6a)。此外,受先存NW向北卫滩基底断裂的走滑作用影响,在惠州凹陷西部呈现多条近EW向和NWW向断裂围限的菱形盆地边界,表现为双断的不对称窄地堑结构<sup>[1]</sup>。

晚始新世-早渐新世(恩平组沉积时期),在太平洋板块俯冲方向转变及俯冲速率增大背景下<sup>[16,21]</sup>,印

度板块以NE向与欧亚板块发生陆-陆“硬碰撞”作用<sup>[22]</sup>。造成印支地块旋转挤出<sup>[23-25]</sup>,进而驱动古南海块体向南俯冲于婆罗洲地块之下,其板后拖曳力导致包括珠江口盆地在内的南海北部陆缘伸展应力场顺时针转变为近SN向(图6b)<sup>[26]</sup>。在近SN向拉张作用下,断裂体系发生明显的变化,NW-SE向不再是优势伸展方向,NE向、NEE向控盆断裂活动性明显减弱。而先期活动强度较弱的近EW向、NWW向断裂与近SN向伸展方向更匹配,活动性明显增强(图4),成为该时期的主要控盆断裂。

从现今珠江口盆地的地壳厚度分布来看,地壳厚度从陆缘32 km减薄至海盆的14 km,北部裂谷带的地壳厚度在28~22 km,而南部裂谷带的地壳厚度22~14 km<sup>[17]</sup>。可见,经过早-中始新世裂陷作用的调整,华南陆区及北部裂谷带由加厚型地壳恢复为正常地壳,而南部裂谷带经历了正常地壳-减薄型地壳的演化过程,岩石圈结构表现为正常的、自陆(北)向海(南)减薄的大陆边缘岩石圈<sup>[1]</sup>。伴随着地壳减薄及岩石圈地幔的加厚<sup>[27]</sup>,岩石圈强度增强。在近SN向伸展应力场的作用下,伸展作用表现为窄裂谷模式<sup>[20]</sup>,伸展变形由均一式转变为集中式,并向南(地壳减薄部位)迁移。裂陷作用集中于现今的南海北部大陆边缘,岩石圈伸展运动学表现为颈缩模式,造成了伸展期间断块旋转较弱,早期彼此独立、分割性强的半地堑或窄地堑相互连通扩展,盆地范围明显扩展(图6b)。与此同时,在近SN向拉张应力场作用下,珠一坳陷处于拉伸作用的北部边界,先期北缘控盆断裂作为先存薄弱带,应力较集中,造成了北缘控盆断裂继承性发育且活动强烈,同时断裂作用向北扩张,沉降中心整体向北迁移(图5)。

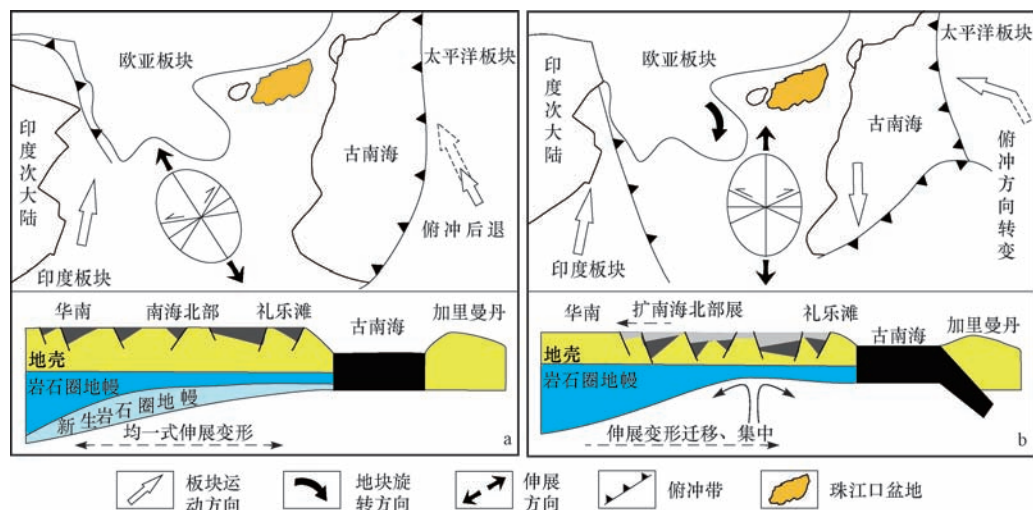


图6 珠江口盆地裂陷期区域动力背景及岩石圈伸展模式<sup>[22]</sup>

Regional dynamic background and lithosphere extensional pattern in the faulting stage of the Zhu 1 Depression

a. 文昌期;b. 恩平期

## 4 油气地质意义

文昌组沉积时期,盆内的断块旋转强烈,断陷湖盆分割性强。在物源供给相对局限背景下,盆地内部沉积物供给速率明显小于可容空间的增加,洼陷中心主要发育半深湖-深湖亚相暗色泥岩<sup>[1]</sup>,以富含水生藻类的有机质为主,烃源岩母质类型好,干酪根类型以 I、II<sub>1</sub> 型为主,以生油为主<sup>[28]</sup>。而恩平组沉积时期,断块旋转较弱,早期彼此孤立的半地堑相互连通,湖盆宽而浅,南北向物源供给充足,沉积速率大于或等于可容空间增加速率,沉积物粒度较粗。以辫状河三角洲相、滨浅湖相和湖沼相发育为主<sup>[1]</sup>,发育一套含煤层系的湖沼相烃源岩,有机质主要来源于高等植物,陆源特征明显,以 II<sub>2</sub> 型和 III 型干酪根为主,以生气为主<sup>[28]</sup>。相比之下,文昌期形成的烃源岩品质较好,为珠一坳陷主力烃源岩,恩平期烃源岩品质相对较差,是次要烃源岩<sup>[29-31]</sup>,体现了幕式裂陷特征的不同造成了烃源岩发育的差异。就惠州凹陷而言,文昌组沉积时期,控盆断裂活动强度南强北弱,表现为南断北超的盆地格局,文昌组优质烃源岩主要发育于凹陷的南部;而恩平沉积时期,控盆断裂活动北强南弱,盆地格局表现为北断南超,恩平组烃源岩主要发育于凹陷的北部。从已发现的油藏分布特征来看,惠州凹陷的南部油气相对富集,同时油源对比结果也证实已发现油藏的油源主要是来自文昌组烃源岩<sup>[28]</sup>。可见,两期南、北洼陷构造特征的差异和烃源岩品质的优劣共同控制了油气资源贫富不均的分布。

## 5 结论

1) 珠一坳陷始新世中-晚期之间发生了重大的构造变革,形成了区域性角度不整合面  $T_8^0$ ,主要表现为削平、削超和褶皱 3 种不整合样式, $T_8^0$  不整合面上、下的盆地构造特征具有明显的差异性。

2) 早-中始新世裂陷幕(文昌组沉积时期),以 NE 向、NEE 向断裂发育为主,盆地构造格局表现为分割性强半地堑或窄地堑系。晚始新世一早渐新世裂陷幕(恩平组沉积时期),同沉积断裂以近 EW 向、NWW 向为主,盆地格局表现为高角度板式-铲式半地堑结构,断块旋转较弱,洼陷间的分割性弱,地势较平缓,盆地范围明显向北扩展。

3) 盆地裂陷期的构造变革受控于不同的区域构造背景及岩石圈的差异伸展机制。在印支半岛旋转挤出及古南海向南俯冲背景下,区域应力场由 NW-SE 向顺时针转变为近 SN 向伸展,导致了 NE 向、NEE 向断裂控盆向近 EW 向、NWW 向断裂控盆的转变;岩石

圈伸展变形由均一式的宽裂谷模式向集中式的窄裂谷模式转变,并向南海北部大陆边缘迁移,造成了盆地格局由彼此孤立、分割性强的半地堑或窄地堑系趋于相互扩展连通,盆地范围有所增大;在近 SN 向拉张作用下,珠一坳陷北缘控盆断裂作为拉伸边界,为先存薄弱带应力较集中,断裂活动强烈并向北扩展,沉降中心整体向北迁移。

## 参考文献

- [1] 钟志洪,施和生,朱明,等. 珠江口盆地构造——地层格架及成因机制探讨[J]. 中国海上油气(地质),2014,26(5):21-24.  
Zhong Zhihong, Shi Hesheng, Zhu Ming, et al. A discussion on the tectonic-stratigraphic framework and its origin mechanism in Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2014, 26(5): 21-24.
- [2] 陈长民,施和生,许仕策,等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京:科学出版社,2003:31-50.  
Cheng Changmin, Shi Hesheng, Xu Shice, et al. Oil and gas reservoir formation condition in the tertiary system of Pearl River Mouth Basin (eastern)[M]. Beijing: Science Press, 2003: 31-50.
- [3] 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]. 天然气地球科学,2009,20(3):385-389.  
Cui Shasha, He Jiaxiong, Chen Shenghong et al. Development characteristics of Pearl River Mouth Basin and its geological conditions for oil and gas accumulation[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(3): 385-389.
- [4] 施和生,于水明,梅廉夫,等. 珠江口盆地惠州凹陷古近纪幕式裂陷特征[J]. 天然气工业,2009,29(1):35-37.  
Shi Hesheng, Yu Shuiming, Mei Lianfu, et al. Features of paleogene episodic rifting in Huizhou fault depression in the Pearl River Mouth Basin[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(1): 35-37.
- [5] 于水明,施和生,梅廉夫,等. 过渡动力学背景下的张扭性断陷——以珠江口盆地惠州凹陷古近纪断陷为例[J]. 石油实验地质,2009,31(5):485-489.  
Yu Shuiming, Shi Hesheng, Mei Lianfu, et al. Analysis of tense-shearing characteristics of Huizhou paleogene fault depression in Pearl River Mouth Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2009, 31(5): 485-489.
- [6] 王有功. 断圈聚油机理及含油气性预测——以珠江口盆地东部番禺 4 洼和惠州凹陷为例[D]. 大庆:东北石油大学,2011,10-15.  
Wang Yougong. Oil accumulation mechanism of fault traps and petro-liferous prediction—a case study on Panyu 4 sag and huizhou sag in Pearl River Mouth Basin[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2011, 10-15.
- [7] 王家豪,刘丽华,陈胜红,等. 珠江口盆地恩平凹陷珠琼运动二幕的构造—沉积响应及区域构造意义[J]. 石油学报,2011,32(4):590-595.  
Wang Jiahao, Liu Lihua, Chen Shenghong, et al. Tectonic-sedimentary responses to the second episode of the Zhu-Qiong movement in the Enping depression, Pearl River Mouth Basin and its regional tectonic significance[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(4): 590-595.
- [8] 代一丁. 珠江口盆地西江南洼古近系构造演化与沉积特征[J]. 中国海上油气,2013,25(3):1-7.  
Dai Yiding. Paleogene tectonic evolution and sedimentation in south xijiang sag, Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and

- Gas, 2013, 25(3): 1-7.
- [9] 许新明, 刘贤来, 陈胜红, 等. 张扭性断陷盆地构造样式与油气成藏的关系——以珠江口盆地恩平凹陷新生界为例[J]. 海洋地质前沿, 2015, 31(1): 31-42.
- Xu Xinming, Liu Xianlai, Chen Shenghong, et al. Structural style in a tension-shear fault basin and its bearing on hydrocarbon accumulation: a cenozoic example in Enping sag, Pearl River Mouth Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2015, 31(1): 31-42.
- [10] 王维, 叶加仁, 杨香华, 等. 珠江口盆地惠州凹陷古近纪幕裂陷旋回的沉积物源响应[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2015, 40(6): 1061-1071.
- Wang Wei, Ye Jiaren, Yang Xianghua, et al. Sediment provenance and depositional response to multistage rifting, paleogene, Huizhou depression, Pearl River Mouth Basin[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2015, 40(6): 1061-1071.
- [11] 吴智平, 胡阳, 钟志洪. 珠一坳陷番禺4注新生代断裂特征及其区域动力背景[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2015, 39(4): 1-9.
- Wu Zhiping, Hu Yang, Zhong Zhihong. Cenozoic faults characteristics and regional dynamic background of Panyu 4 sub-sag, Zhu I depression[J]. Journal of China University of Petroleum, 2015, 39(4): 1-9.
- [12] 施和生, 何敏, 张丽丽, 等. 珠江口盆地(东部)油气地质特征、成藏规律及下一步勘探策略[J]. 中国海上油气, 2014, 26(3): 11-22.
- Shi Hesheng, He Min, Zhang Lili, et al. Hydrocarbon geology accumulation pattern and the next exploration strategy in the eastern Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2014, 26(3): 11-22.
- [13] 朱俊章, 施和生, 龙祖烈, 等. 珠一坳陷半地堑成藏系统成藏模式与油气分布格局[J]. 中国石油勘探, 2015, 20(1): 25-26.
- Zhu Junzhang, Shi Hesheng, Long Zulie, et al. Accumulation pattern and hydrocarbon distribution of half-graben accumulation system in Zhu I depression[J]. China Petroleum Exploration, 2015, 20(1): 25-26.
- [14] 任建业. 渤海湾盆地东营凹陷S6'界面的构造变革意义[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2004, 29(1): 72-76.
- Ren Jianye. Tectonic significance of S6' boundary in Dongying depression, Bohai Gulf basin[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(1): 72-76.
- [15] 王家豪, 王华, 肖敦清, 等. 陆相伸展性盆地二级层序的厘定[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 869-875.
- Wang Jiahao, Wang Hua, Xiao Dunqing, et al. Determination of second-order stratigraphic sequences in continental extensional basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 869-875.
- [16] Engebretson D C, Cox A, Gordon R G. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific basin[J]. Geological Society of America Special Papers, 1985, 206: 1-60.
- [17] 庞雄, 陈长民, 彭大钧, 等. 南海珠江深水扇系统及油气[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 49-50.
- Pang Xiong, Chen Changmin, Peng Dajun, et al. The Pearl River deep-water fan system and petroleum in south China sea[M]. Beijing: Science Press, 2007: 49-50.
- [18] 周蒂, 陈汉宗, 吴世敏, 等. 南海的右行陆缘裂解成因[J]. 地质学报, 2002, 76(2): 180-188.
- Zhou Di, Chen Hanzong, Wu Shimin, et al. Opening of the south China sea by dextral splitting of the east Asian continental margin[J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(2): 180-188.
- [19] 包汉勇, 郭战峰, 张罗磊, 等. 太平洋板块形成以来的中国东部构造动力学背景[J]. 地球科学进展, 2013, 28(3): 337-338.
- Bao Hanyong, Guo Zhanfeng, Zhang Luolei, et al. Tectonic dynamics of eastern China since the formation of the Pacific plate[J]. Advances in Earth Science, 2013, 28(3): 337-338.
- [20] Buck W R. Modes of continental lithospheric extension[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978-2012), 1991, 96(b12): 20161-20178.
- [21] Maruyama S, Send T. Orogeny and relative plate motions: example of the Japanese islands[J]. Tectonophysics, 1986, 127(3): 305-329.
- [22] Hall R. Late Jurassic-Cenozoic reconstructions of the Indonesian region and the Indian ocean[J]. Tectonophysics, 2012, 570: 25-30.
- [23] Tapponnier P, Lacassin R, Leloup P H, et al. The Ailao Shan-red river metamorphic belt: tertiary left lateral shear between Indochina and south China[J]. Nature, 1990, 243: 431-437.
- [24] Morley C K. A tectonic model for the tertiary evolution of strike-slip faults and rift basins in SE Asia[J]. Tectonophysics, 2002, 347: 189-215.
- [25] 孙珍, 钟志洪, 周蒂, 等. 南海的发育机制研究: 相似模拟证据[J]. 中国科学(D辑), 2006, 36(9): 797-810.
- Sun Zhen, Zhong Zhihong, Zhou Di, et al. Research on the dynamics of the south China sea opening: evidence from analogue modeling[J]. Science in China(Series D): Earth Sciences, 2006, 36(9): 797-810.
- [26] 张亮. 南海构造演化模式及其数值模拟[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2012, 110-111.
- Zhang Liang. Tectonic evolution of the south China sea and a numerical modeling[D]. Qingdao: The University of Chinese Academy of Sciences(Institute of Oceanology), 2012, 110-111.
- [27] 吴福元, 孙德有, 张广良, 等. 论燕山运动的深部地球动力学本质[J]. 高校地质学报, 2000, 6(3): 379-388.
- Wu Fuyuan, Sun Deyou, Zhang Guangliang, et al. Deep geodynamics of Yanshan movement[J]. Geological Journal of China Universities, 2000, 6(3): 379-388.
- [28] 施和生. 论油气资源不均匀分布与分带差异富集——以珠江口盆地珠一坳陷为例[J]. 中国海上油气, 2013, 25(5): 1-8.
- Shi Hesheng. On heterogeneous distribution and differential enrichment by zones of hydrocarbon resources: A case in Zhu I depression, Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2013, 25(5): 1-8.
- [29] 傅宁, 丁放, 何仕斌, 等. 珠江口盆地恩平凹陷烃源岩评价及油气成藏特征分析[J]. 中国海上油气, 2007, 19(5): 295-298.
- Fu Ning, Ding Fang, He Shibin, et al. Source rocks evaluation and reservoir characteristics analysis in Enping sag, Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2007, 19(5): 295-298.
- [30] 李友川, 陶维祥, 孙玉梅, 等. 珠江口盆地惠州凹陷及其邻区原油分类和分布特征[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 831-834.
- Li Youchuan, Tao Weixiang, Sun Yumei, et al. Classification and distribution of oil in Huizhou depression of Pearl River Mouth Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 831-834.
- [31] 李松峰, 徐思煌, 施和生, 等. 珠江口盆地惠州凹陷古近系烃源岩特征及资源预测[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2013, 38(1): 115-120.
- Li Songfeng, Xu Sihuang, Shi Hesheng, et al. Characteristics of paleogene source rocks and prediction of petroleum resources in Huizhou depression, Pearl River Mouth Basin[J]. Earth Science: Journal of China University of Geoscience, 2013, 38(1): 115-120.