

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2014.03115

珠江口盆地珠三坳陷断裂特征与油气成藏

李辉¹, 陈胜红², 张迎朝³, 牛翠银¹, 张坤坤¹, 叶绮¹, 胡高伟¹

(1. 中海石油(中国)有限公司 湛江分公司研究院, 湛江 524057; 2. 中海石油(中国)有限公司 深圳分公司研究院, 广州 510240;
3. 中海石油(中国)有限公司 湛江分公司勘探开发部, 湛江 524057)

摘要:珠江口盆地珠三坳陷为南海北部陆缘拉张型含油气盆地。受区域构造应力场变化控制,盆地在构造演化过程中主要经历了三期断裂活动,发育了3种类型断裂,古新世-早渐新世发育NE向伸展断裂,晚渐新世-早中新世发育近EW向走滑伸展断裂,中中新世至今发育NW向走滑伸展断裂。主干断裂和次级断裂的平面组合样式主要有平行式、羽状、雁列式、帚状,剖面组合样式主要有Y字形、阶梯状、负花状。断裂活动对珠三坳陷的油气生成、运移、聚集具有重要的控制作用。控凹的主干断裂活动控制了生烃凹陷的分布和烃源岩的热演化,断裂活动控制形成了多种类型圈闭,长期继承性活动断裂是浅层油气藏形成的主要运移通道。主干断裂带是珠三坳陷油气复式富集成藏的有利区带,文昌凹陷北坡断阶带和琼海凸起、阳江低凸起披覆背斜带也是珠三坳陷油气有利成藏区带。

关键词:构造演化;断裂系统;伸展断裂;油气成藏;珠三坳陷

中图分类号: P736.1

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2014)03-0115-10

1 区域地质背景

珠江口盆地珠三坳陷位于南海北部陆缘,是在古近系基底上发育起来的新生代陆缘拉张型含油气盆地^[1-6]。其又可划分为9个次级构造单元,其中负向单元有文昌A、B、C凹陷、琼海凹陷、阳江凹陷和阳春凹陷,正向单元有琼海凸起、阳江低凸起和阳江地垒^[3,7-9](图1)。新生代主要发育的地层有古近系神狐组、文昌组、恩平组、珠海组,新近系珠江组、韩江组、粤海组、万山组和第四系琼海组(图2)。

珠三坳陷断裂十分发育,断裂对油气的生成、运移、聚集有强烈的控制作用^[4,10-14]。由于断裂发展和演化的复杂性,造成坳陷内不同凹陷的演化具有较大的差异性,勘探成效差异显著,这给油气勘探带来很大的难度。因此,深入研究珠三坳陷的断裂特征,确定断裂的发生、发展和演化期次及其成因,并在此基础上讨论断裂对油气生成、运移、聚集的控制作用,将对该区寻找油气勘探新领域和大中型油气田勘探突破方向起到很好的指导作用。

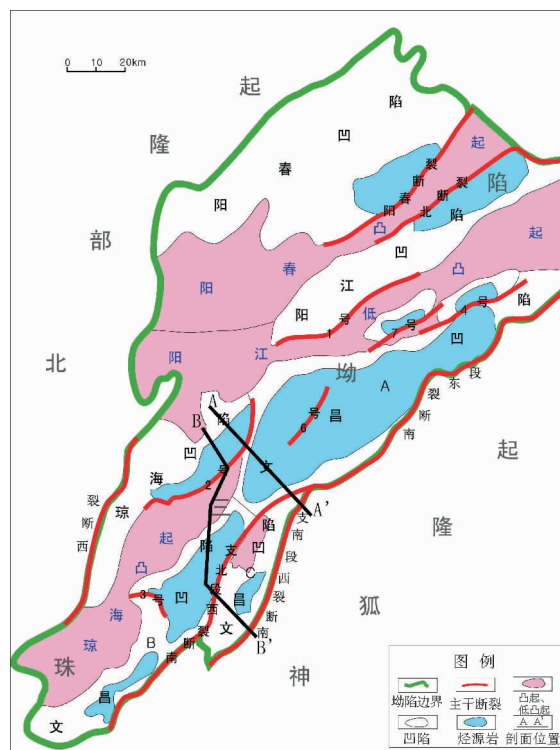


图1 珠三坳陷构造单元划分和基底主干断裂分布
Fig. 1 Distribution of main basement faults and division of tectonic units in Zhu-3 Depression

2 断裂发育特征及成因

2.1 断裂发育期次与成因机制

珠三坳陷在新生代总体经历了古新世-早渐新

基金项目:国家重大专项课题(2011ZX05023-001-007)

作者简介:李辉(1981—),男,工程师,现主要从事地震资料综合解释和勘探综合研究工作, E-mail: lihui5@cnooc.com.cn

收稿日期:2013-12-15; **改回日期:**2014-02-17. 周立君编辑

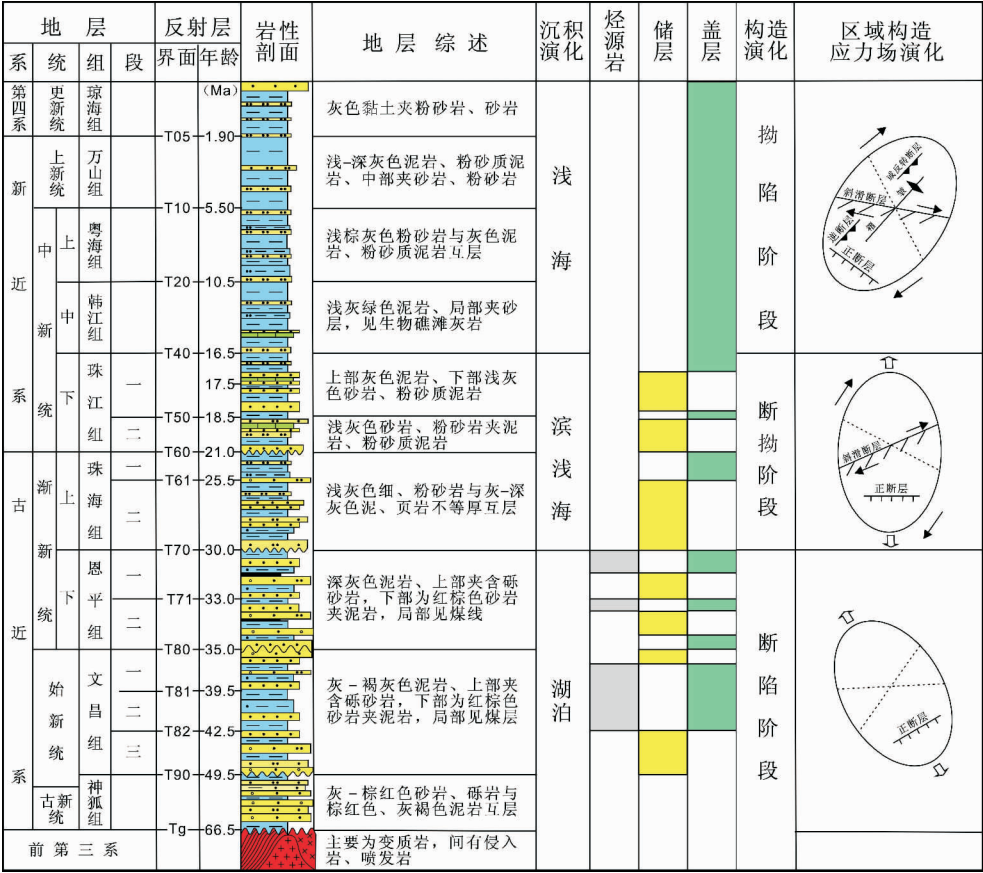


图 2 珠三拗陷新生代充填序列和构造演化

Fig. 2 Filling sequence and tectonic evolution of the Cenozoic in Zhu-3 Depression

世断陷期、晚渐新世-早中新世断拗转换期和中新世-现今拗陷期 3 个构造演化阶段^[3]。受地幔热隆起引起的地壳伸展作用和区域构造应力场右旋引起的右旋走滑双重作用控制^[15-18]，拗陷内形成了多期复杂断裂。根据断裂的发育时期和运动学特征，可

将珠三拗陷的断裂分为早期伸展断裂、中期走滑伸展断裂、晚期走滑伸展断裂 3 种类型(图 3)。不同类型断裂的变形期次、演化序列与区域构造应力场的演化密切相关。

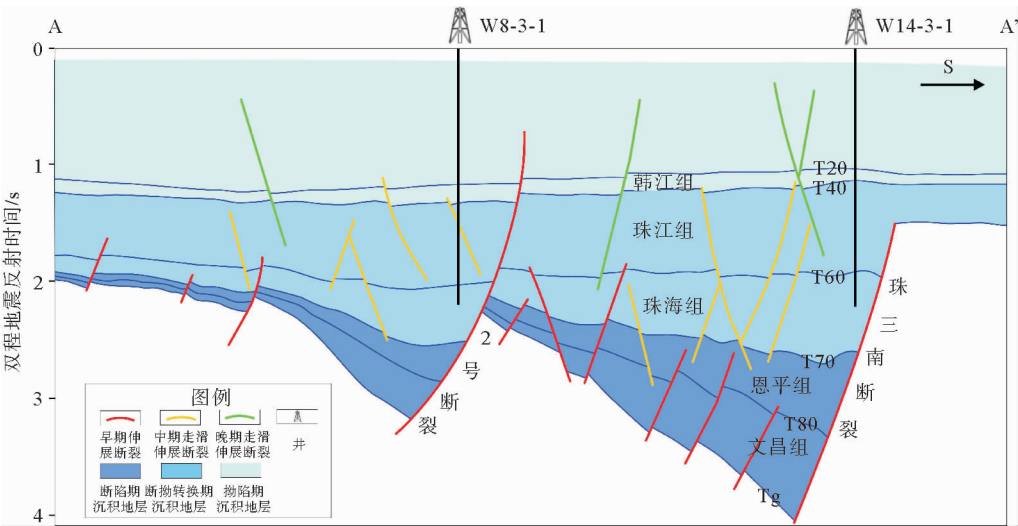


图 3 珠三拗陷断裂类型划分(位置见图 1 剖面 AA')

Fig. 3 Division of fault types in Zhu-3 Depression

2.1.1 早期伸展断裂

珠三拗陷的早期伸展断裂是指古新世-早渐新世(Tg-T70)盆地断陷期,在NW—SE向伸展区域构造应力场作用下形成的NE向断裂。本期断裂多为控制拗陷或凹陷的主干断裂,控制了珠三拗陷的结构、沉积充填、区域构造形态,控制上盘地层在拗陷内形成了多个陆相半地堑,均为铲式正断层,横向延伸距离达上百公里,如珠三南断裂、2号断裂等。

珠三拗陷早期伸展断裂的形成与古新世至早渐新世东亚陆缘大规模裂谷作用有密切关系^[3,16,18]。古新世-始新世,由于太平洋板块向欧亚板块俯冲,使大陆岩石圈向东南方向蠕散,产生NW—SE向伸展构造应力场,在亚洲大陆东缘产生了广泛的伸展运动,形成了大规模的裂谷作用,在南海东北部陆缘形成了一系列的NE向伸展断裂。珠三拗陷作为南海北部陆缘的一部分,在此期间也经历了湖泊雏形期-鼎盛期的演化阶段,拗陷内发育了神狐组冲积相沉积和文昌组中深湖相泥岩沉积,文昌组泥岩为拗陷的主要油源岩。在早渐新世时期,裂陷作用有所减弱,先期形成的NE向断裂继承性活动,沉降趋于稳定,早期湖盆逐渐萎缩,主要沉积恩平组河流、沼泽相煤系地层,为珠三拗陷主要的气源岩。早期伸展断裂发育期区域构造应力场方向如图2所示。

2.1.2 中期走滑伸展断裂

中期走滑伸展断裂是指晚渐新世-早中新世(T70-T40)盆地断拗转换期发育的近EW向具有走滑性质的伸展断裂,主要发育在文昌A、B凹陷内。中期走滑伸展断裂在平面上主要有帚状和雁列式两种组合形式。帚状断裂由数条近EW向的分支断层收敛于早期发育的NE向主干断裂而形成,如珠三南断裂中东段帚状断裂带。雁列式断层发育在远离主干断裂带的位置,仅由数条近EW向断裂呈雁列式排开,如文昌B凹陷北坡雁列式断裂带。两种平面组合的分支断层倾向总体向北,向下断至恩平或文昌组泥岩,单条分支断层延伸距离一般在10千米左右,整个断裂带延伸距离可达数十千米。中期走滑伸展断裂控制沉积作用较弱,在断层两盘均沉积了较厚的珠海组和珠江组地层。

中期走滑伸展断裂的形成主要受控于该时期的区域右旋张扭构造应力场(图2)。晚渐新世-早中新世,受印度板块和欧亚板块的碰撞以及印支地块沿SE向顺时针旋转挤出的综合影响^[15,18],珠三拗陷的区域构造应力场发生顺时针旋转,由NW—SE向伸展逐渐调整为S—N向伸展右旋。在区域构造应力场控制下,部分控凹的早期伸展断裂继承性活

动,在凹陷内产生了一系列近EW向的走滑伸展断裂。在拗陷的不同部位,表现出了不同的断裂构造变形特征。由于区域S—N向伸展右旋构造应力场方向与先期形成的NE向边界主干断裂夹角略小于45°,边界断层在继承性伸展活动过程中由于受到右旋力偶作用而产生斜向走滑。在靠近主干断裂带的区域,该时期形成的近EW向断层由于受边界断裂的限制,一起沿NE向主干断裂发生斜向走滑,并收敛于主干断裂,形成帚状平面断裂组合。而在远离主干断裂带的区域,由于不受边界断层限制,在S—N向伸展右旋区域构造应力场作用下形成的走滑伸展断裂在平面上呈雁列式组合。

2.1.3 晚期走滑伸展断裂

晚期走滑伸展断裂主要是指中中新世以后(T40以后)盆地拗陷期发育的NW向断裂,是中中新世以后区域构造应力场方向进一步右旋调整为NE—SW向伸展右旋的结果。本期走滑伸展断裂也主要发育两种平面组合形式。一种是沿着帚状的中期走滑伸展断裂的分支断层尾部继承性发育,分支断层方向由近EW向向NW向拐弯,整条分支断裂呈现出向南凸出的弧形,如文昌A凹陷6号断裂带,就是晚期走滑伸展断裂活动叠加在中期走滑伸展断裂上而形成的向NW方向开口的弧形帚状断裂带。另一种是雁列式平面组合形式,本期走滑伸展的雁列式断层主要发育在拗陷边缘的凸起上,如琼海凸起,单条断层呈高角度直立形态,向下一般断至基底,向上切穿韩江组地层,有的甚至断至海底。由于晚期走滑伸展断裂是在伸展背景下形成,在剖面上主要体现为伸展断裂特点,断裂的走滑特征不是很明显,其走滑特征主要体现在断裂的平面组合形式上。

晚期走滑伸展断裂的形成主要受中中新世末期的东沙运动产生的NE—SW向伸展右旋的区域构造应力场控制而形成^[3,7,18](图2)。中中新世以后,南海扩张逐渐停止,盆地冷却和上覆沉积负载的作用使盆地进一步下沉,构造运动减弱,以区域热沉降为主。发生在中中新世末期的东沙运动,主要表现为断块升降、局部挤压褶皱,部分早期NE、近EW向断层继承性活动甚至发生反转,围绕凹陷边缘发育一组NW向张扭性正断层。

2.2 断裂分级

按照断裂对构造演化和沉积的控制作用不同,将拗陷内的断裂细分为I—V级。

I级断裂:控制整个珠三拗陷构造和沉积边界

的主断裂,为盆地断陷期发育的早期伸展断裂,后期持续活动时间长,断穿层位多,规模和断距均较大。在珠三拗陷内发育了两条 I 级断裂,即珠三南断裂和珠三西断裂。

II 级断裂:控制凹陷和凸起等次级构造单元发育和演化的断层,也是盆地断陷期发育的早期伸展断裂,规模比 I 级断裂稍小。拗陷内发育 4 条 II 级断裂,即 1 号断裂、2 号断裂、珠三北断裂和阳春断裂。

III 级断裂:控制凹陷或凸起局部构造带分段或分块的断裂,多为早期伸展断裂和中期走滑伸展断裂,如 6 号断裂和 7 号断裂。

IV 级断裂:控制局部构造的形成、对局部构造油气的运移与保存都有重要影响的中小断层,多为中期走滑伸展断裂和晚期走滑伸展断裂。

V 级断裂:对局部圈闭的形成不起控制作用,但影响局部构造油气保存并使局部构造复杂化的小断层,多为发育在拗陷边缘凸起上的晚期走滑伸展断裂。

2.3 断裂组合特征

断裂组合样式是其成因动力机制的表现形式,而成因动力机制的差异往往代表了不同的油气成藏地质意义^[19-21],因此,研究断裂对油气成藏的控制作用,离不开对断裂平面和剖面组合样式的研究。

2.3.1 断裂平面组合特征

珠三拗陷主要发育以下 4 种断裂平面组合样式:

平行式:由若干条规模相当、成因和性质相同或相似的断层组合而成(图 4a),它们往往是同一应力场背景下一次或多次构造运动的产物。在文昌 A、B 和琼海凹陷北坡广泛发育平行式断裂,主要为 NE 向早期伸展断裂。

羽状:后期发育的近 EW、NW 向走滑伸展断裂与早期 NE 向伸展断层相交,甚至切割早期断层,在平面上形成羽状断裂组合(图 4b)。在珠三南断裂、7 号断裂等早期伸展断裂附近均出现了这种断裂平面组合。

雁列式:由性质相同的若干条断层在平面上呈雁列式排列而成(图 4c)。珠三拗陷晚渐新世以后的右旋张扭应力场是其形成的主要构造动力,多为中期和晚期走滑伸展断裂。在琼海凸起和文昌 A、B 凹陷内发育了多条近 EW、NW 向雁列式组合断裂带。

帚状:由若干条弧形次级断层和一条主干断层组合而成,次级断层向主干断层一端收敛,向另一端敞开,其形成往往与主干断层的张扭或压扭性有关。如 6 号断裂(图 4d),由若干条向 NW 开口、向 SE 主干断层收敛的弧形断层组合而成,主要受珠三拗陷晚渐新世以后的右旋张扭应力场作用而形成。

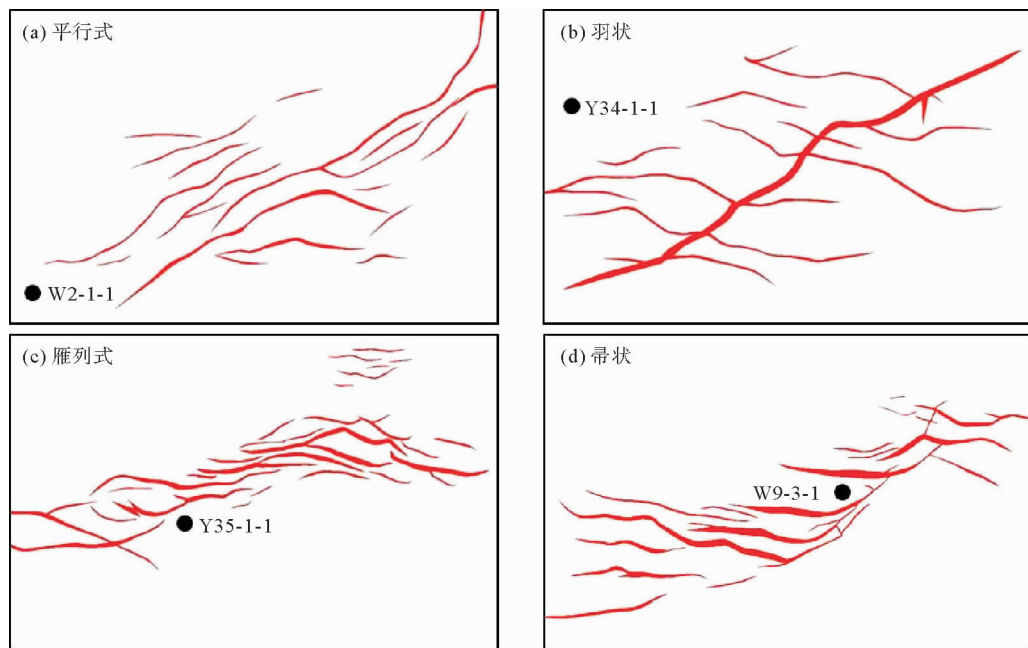


图 4 珠三拗陷断裂平面组合样式

Fig. 4 Planar pattern of main faults in Zhu-3 Depression

2.3.2 断裂剖面组合特征

珠三坳陷主要发育以下3种断裂剖面组合样式:

Y字形:在剖面上呈Y字形状,多为在伸展作用和重力作用下,由铲式主干断层与其上盘的派生低级别断层组合而成。根据低级别断层的数量及与主干断层的倾向关系,又可分为同向Y字形(图5a)、反向Y字形(图5b)和复合Y字形(图5c)。珠三坳陷内,此种类型的断层一般发育在凹陷陡坡带边缘主干断裂带附近,与主干断裂逆牵引形成的滚动背斜或正牵引形成的断鼻构造相伴生,由于区域构造应力场持续右旋,其次级断层的走向一般与主干断层呈小角度斜交。

阶梯状:此种断裂剖面组合由若干条产状基本一致的正断层组成,各断层的上盘依次向同一方向断落。依据断层倾向和地层倾向的关系,又可分为同向阶梯状(图5d)和反向阶梯状(图5e)。阶梯状断裂组合在文昌A、B和琼海凹陷北坡广泛发育,一般为中期走滑伸展断裂,断裂平面组合一般为雁列式或帚状。

负花状:剪切断裂带在浅部往往表现为向上分叉、撒开的断裂组合,在剖面上形似花朵,称为花状断层^[19]。由张剪断裂带形成的构造形状形似向形,称为负花状断层(图5f);由压剪断裂带形成的构造形状形似背形,称为正花状断层。晚渐新世以后,受持续右旋张扭区域构造应力场作用,珠三坳陷内发

育了两组负花状断层,一组位于W10-1至W10-8构造带上,另一组位于W14-1至W8-1构造带上,两组断层均为张剪性正断层。

3 断裂活动对油气的控制作用

沉积盆地中的油气聚集受到多种石油地质条件的影响,但在断陷盆地中,构造条件却是首要因素,断陷盆地的构造演化和沉积充填过程与断裂的活动是紧密相关的^[13-14,19-21]。早期伸展断裂发育期是本区主要烃源岩沉积时期^[4,7],中期走滑伸展断裂发育期是本区主要圈闭的形成期^[1-2,6],晚期走滑伸展断裂发育期是本区区域盖层沉积时期^[16]。勘探实践证明,三期断裂活动对本区油气生成、运移、圈闭形成等成藏要素具有重要的控制作用^[6,10,22-26]。

3.1 断裂活动对生烃凹陷分布及烃源岩热演化的控制

断裂活动控制了盆地的沉降单元,从而控制了生烃凹陷的分布^[8,13-14];断裂的活动强度及持续时间的长短控制了生烃凹陷的深度,从而控制了凹陷内烃源岩沉积的厚度和热演化程度^[4,10-11]。珠三坳陷主要发育文昌组二段和恩平组一段两套烃源岩,在烃源岩沉积时期是珠三坳陷构造运动较为强烈的时期^[3]。各凹陷的主力烃源岩发育明显受NE向主干断裂控制,沉降中心和烃源岩最大厚度均位于控

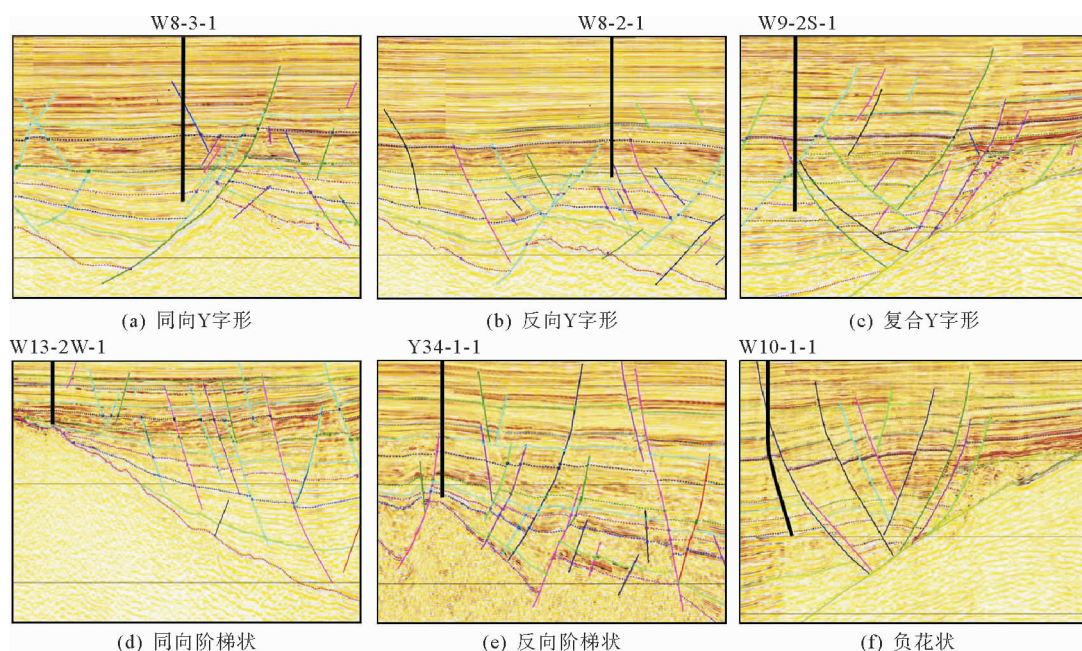


图5 珠三坳陷断裂剖面组合样式

Fig. 5 Profile of combined pattern of main faults in Zhu-3 Depression

凹边界断裂活动最强烈位置的下降盘(图 6)。珠三坳陷的 I、II 级主干断裂对烃源岩的热演化也表现出了强烈的控制作用^[26-27]。控凹主干断裂停止活动时间越晚,凹陷内现今烃源岩的镜质体反射率 R_o 就越大,其热演化程度越高(表 1)。如控制文昌 A、B 凹陷的珠三南断裂,西段北支在渐新世末即停止活动,文昌 B 凹陷仅文昌组源岩进入生烃门限,现今的 R_o 为 0.6%~1.3%,仍处于生油窗内,恩平组源岩埋深较浅,现今仍未成熟;而东段持续活动至现今,当文昌 A 凹陷文昌组源岩进入生油高峰期时本区主要储盖组合均未形成,现今其 R_o 值大于 2.3%,已进入过成熟阶段,以生干气为主,恩平组源岩现今 R_o 值为 1.3%~2.0%,已处于生凝析油—湿气阶段。由于主干断裂差异性活动对烃源岩热演化的控制作用^[10],目前在文昌 B 凹陷周缘以原油发

现为主,而在文昌 A 凹陷周缘以天然气发现为主^[1-2]。

3.2 断裂活动对圈闭形成的控制

多年勘探实践表明,珠江组和珠海组是珠三坳陷的主力成藏层系。中期走滑伸展断裂发育时期正是该层系地层沉积时期,本期断裂活动对该层系地层的沉积和构造变形具有明显的控制作用,加上早期伸展断裂在该时期的继承性活动和晚期走滑伸展断裂活动对该层系地层改造作用的叠加,在珠江组和珠海组主力成藏层系形成了多种类型的与断层有关的圈闭^[1-2,6](图 7),为新生代油气聚集提供了场所。早期 NE 向伸展断裂在中期和晚期持续活动的牵引或逆牵引作用,在下降盘形成断鼻或滚动背斜圈闭;中期走滑伸展断裂作用在主干断裂带附近形

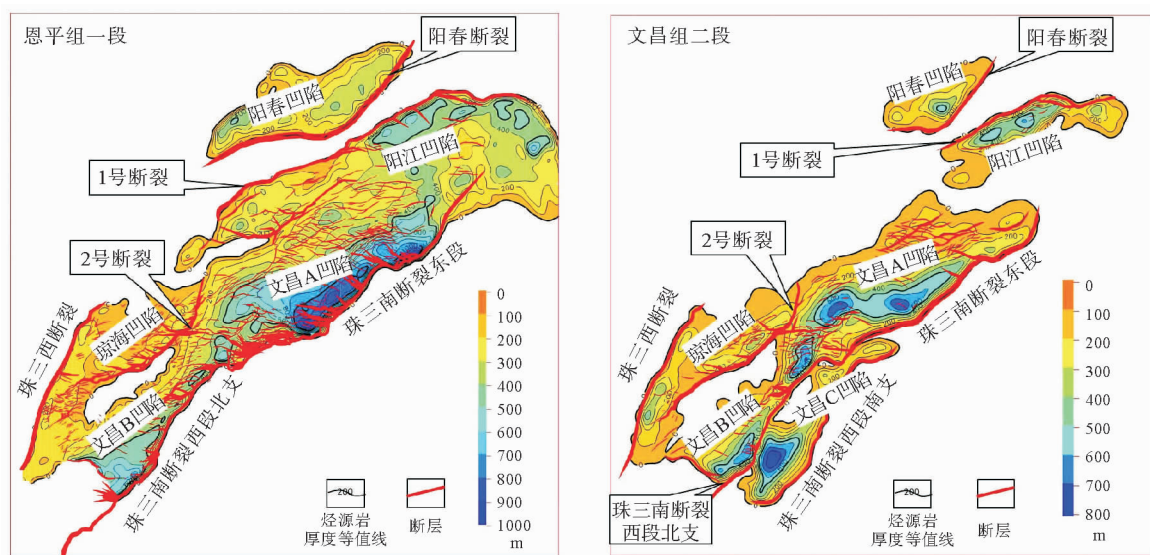


图 6 珠三坳陷烃源岩厚度与断裂叠合图

Fig. 6 The superposed maps showing source rock thickness and faults in Zhu-3 Depression

表 1 珠三坳陷主干断裂活动特征与烃源岩厚度及热演化关系

Table 1 The relationship between the source rock thickness and thermal evolution and the activity characteristics of major faults in Zhu-3 Depression

凹陷	控凹断裂	断陷期活动 强度/(m/Ma)	主要烃源岩 最大厚度/m	成熟烃源岩 面积/km ²	控凹断裂停止 活动时间	主要烃源岩 现今 R_o
文昌 A 凹陷	南断裂东段	259	2 010	1 636	现今	1.3%~2.7%
文昌 B 凹陷	南断裂西段北支	116	1 060	405	晚渐新世末	0.6%~1.3%
文昌 C 凹陷	南断裂西段南支	102	810	45	始新世	<0.8%
琼海凹陷	2 号断裂	45	379	242	中中新世末	0.7%~1.3%
阳江凹陷	北断裂	111	1 019	618	现今	1.0%~2.2%
阳春凹陷	阳春断裂	94	725	345	晚中新世末	0.7%~1.3%

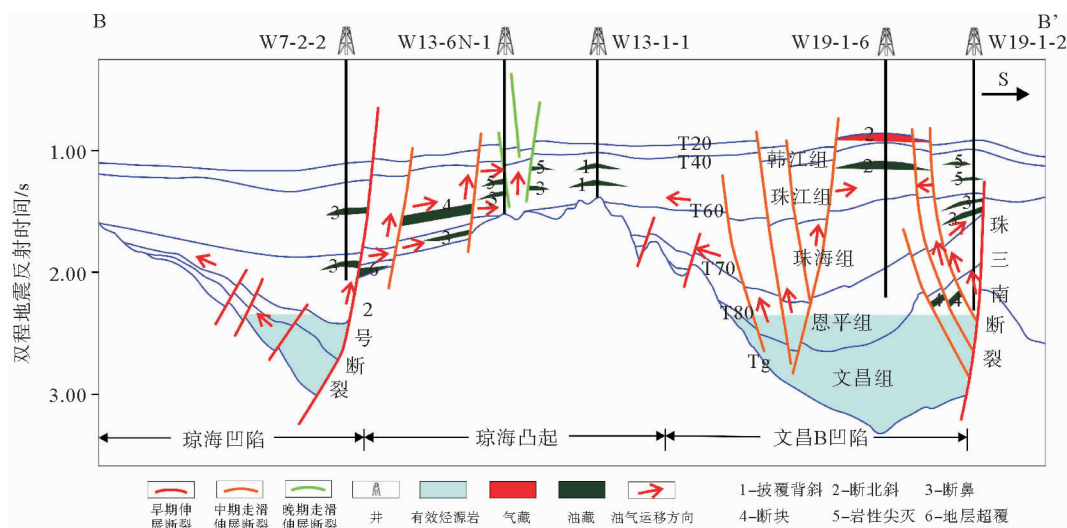


图7 珠三拗陷断裂与油藏类型关系(位置见图1剖面BB')

Fig. 7 The relationship of fault and reservoirs in Zhu-3 Depression

成的帚状断裂带可形成断块圈闭,在远离主干断裂带位置的雁列式断裂带则形成断块或者断鼻圈闭;中期走滑伸展断裂对早期伸展断裂的切割形成的羽状断裂组合可形成断块圈闭;晚期伸展走滑断裂对凸起或隆起上披覆背斜的切割形成断背斜或断鼻圈闭。在Ⅰ、Ⅱ级主干断裂带附近,由于多期断裂活动的叠加,除了形成与断裂有关的单一类型圈闭,还可以在纵向上形成多成因机制的复式圈闭^[11,16]。

3.3 断裂活动对油气成藏的控制

在断陷盆地中,断裂本身作为沟通烃源和圈闭的高效运移通道,其活动历史对油气成藏具有重要的控制作用^[10-11,14,26]。珠三拗陷目前已发现的油气藏主要以断裂侧封的油气藏为主,沿拗陷中的Ⅰ、Ⅱ级主干断裂带分布^[5-6],其地质储量占整个拗陷已发现地质储量的70%以上,剩下大约30%的地质储量分布在凸起或隆起区的披覆背斜、地层岩性等类型的圈闭里,也都是通过断裂和骨架砂岩沿构造脊运移成藏^[21](图7)。

3.3.1 控制凹陷的Ⅰ、Ⅱ级主干断裂带是油气复式富集成藏的有利区带

控凹的Ⅰ、Ⅱ级主干断裂下降盘一般为凹陷的沉降中心,发育了巨厚的烃源岩^[27]。多年勘探实践表明,主干断裂带周边具有源储势差大,成藏动力强的特点^[1-2]。由于主干断裂叠加了多期断裂活动,断裂活动持续时间长,构造变形强度大,不仅可以作为沟通烃源和圈闭的高效运移通道,还在断裂的下降盘不同层系形成了多种类型的圈闭,为油气纵向复式聚集成藏提供了场所。目前,珠三拗陷已钻探发

现12个直接受主干断裂控制的油气田和含油气构造,其地质储量占到了目前珠三拗陷已发现地质储量的一半以上。如珠三南断裂西段W19-1油田(图7),受早期伸展断裂和中期伸展走滑断裂控制,在文昌组形成了断块型致密砂岩油藏,在珠海组形成了断鼻型高产轻质油藏,在珠江组形成了大型断背斜油藏,在韩江组形成了断背斜型天然气藏,多层系油气藏在纵向上叠置,沿主干断裂带形成大型油气复式聚集带。

3.3.2 凹陷中长期继承性活动断裂是凸起或隆起区浅层油藏的主要运移通道

控凹的早期伸展断裂在中期和晚期均有不同程度的继承性活动,停止活动时间晚,开启时间长。多年勘探实践表明,长期继承性活动断裂能高效地将凹陷中源岩生成的油气垂向运移至浅层区域盖层之下,再通过砂岩、不整合面和构造脊侧向运移至周边的凸起或隆起区,在浅层披覆背斜或地层岩性圈闭里聚集成藏^[20-21]。如珠三南断裂中东段帚状断裂带,叠加了三期断裂活动作用,从古新世持续活动到中新世末期,多年勘探实践和油岩生标特征对比表明^[28-29],该断裂带是神狐隆起W15-1油田的油气主运移通道。

4 有利成藏区带预测

通过对珠三拗陷断裂特征及其对油气成藏的控制作用分析,结合近年来的钻井资料,开展了有利成藏区带预测,并提出了有利勘探目标。

有利成藏区带一:珠三南断裂油气复式富集带。

前已述及,沿主干断裂带具备优势的源、运、聚等油气成藏条件。研究认为,珠三南断裂为断陷期活动强度最大的主干断裂,其控制的文昌 A、B 凹陷沉积的烃源岩也最厚,达上千米,沿珠三南断裂带发育了多种类型的断层圈闭。多年勘探实践证实,珠三南断裂带西段 W19—W14 区具有油气复式聚集成藏的特点,该区已发现多个复式油气藏,发现原油地质储量数千万方。而珠三南断裂东段在断陷期活动强度更大,沉积的文昌和恩平组烃源岩更厚;停止活动时间更晚,断层开启时间更长,油气运移条件更为有利。因此,研究认为珠三南断裂东段同样具备油气复式聚集成藏的条件。在此思路指导下,沿珠三南断裂东段搜索出了 W10-9 构造,并于近期进行了钻探,在珠江组获得了高产轻质油藏发现,在珠海组获得了天然气藏发现。证实了此前对该区成藏条件的认识。研究认为,W10-8、W19-6 构造为本区下步有利上钻目标。

有利成藏区带二:文昌凹陷北坡断阶带有利成藏区。该区广泛发育近 EW 和 NW 向走滑伸展断裂和 NE 向早期伸展断裂。由于后期断层对早期断层的切割,断层平面组合多为羽状,早期伸展断裂不发育的位置断层平面组合为雁列式。以上两种断裂组合形成的圈闭主要为断块圈闭或断鼻圈闭。尽管该区离凹陷中心成熟烃源岩有一定距离,但是由于长期受古珠江三角洲影响,该区砂岩较发育,砂岩与凹陷边缘的近 EW、NW 向中期和晚期走滑伸展断裂配合可作为油气运移的良好通道。该区已钻的 Y36-1-1、Y34-1-1 等井在珠江组和珠海组均见到良好的油气显示。研究认为,该区的 Y34-2 大型断块构造具有良好的油气勘探前景,目前正在采集三维地震资料对该区构造进行进一步落实。

有利成藏区带三:琼海凸起和阳江低凸起披覆背斜构造带。精细油岩对比研究表明,该区烃源来自受珠三南断裂控制的文昌 A、B 富生烃凹陷^[21,29]。文昌凹陷北坡广泛发育的中期走滑伸展断裂和珠江组、珠海组骨架砂岩组成的油气立体疏导体系,与斜坡带构造脊耦合,形成该区优势油气运移通道^[6,30]。多年钻探实践表明,该区具有优越的油气成藏条件,目前该区已发现石油地质储量占珠三坳陷已发现石油地质储量的 30% 左右。本区的 Y33-1S、Q17-2 等披覆背斜圈闭为下一步钻探的有利目标。

5 结论

(1) 珠三坳陷主要发育 NE 向早期伸展断裂,近

EW 向中期走滑伸展断裂和 NW 向晚期走滑伸展断裂等 3 种断裂类型。断裂平面组合样式主要有平行式、羽状、雁列式、帚状等 4 种,剖面组合样式主要有 Y 字形、阶梯状和负花状 3 种。

(2) 珠三坳陷断裂活动对油气生成、运移、聚集有较强的控制作用。断裂活动控制了生烃凹陷的分布及其烃源岩热演化过程,断裂活动控制了圈闭的形成,主干断裂带是珠三坳陷油气复式富集成藏的有利区带,凹陷中长期继承性活动断裂是凸起或隆起区浅层油藏的主要运移通道。

(3) 综合研究认为,珠三南断裂油气复式聚集带、文昌凹陷北坡断阶带、琼海凸起和阳江低凸起披覆背斜构造带为珠三坳陷三大有利油气成藏区带。

参考文献 (References)

- [1] 张迎朝,甘军,邓勇,等. 珠江口盆地西部文昌 B 凹陷及周边油气成藏组合[J]. 中国海上油气, 2009, 21(5): 303-307. [ZHANG Yingzhao, GAN Jun, DENG Yong, et al. Hydrocarbon plays in Wenchang B sag and its surrounding areas, the western Pearl River Mouth basin[J]. China Offshore Oil And Gas, 2009, 21(5):303-307.]
- [2] 甘军,张迎朝,邓勇,等. 珠江口盆地西部文昌 A 凹陷古近系天然气富集主控因素与勘探方向[J]. 中国海上油气, 2009, 21(6):367-371. [GAN Jun, ZHANG Yingzhao, DENG Yong, et al. Main controls over Palaeogene natural gas accumulation and its exploration direction in Wenchang A sag, the western Pearl River Mouth basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2009, 21(6):367-371.]
- [3] 龚再升,李思田,谢泰俊,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. [GONG Zaisheng, LI Sitian, XIE Taijun, et al. Continental Margin Basin Analysis and Hydrocarbon Accumulation of the Northern South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1997: 44-126.]
- [4] 朱伟林,黎明碧,吴培康. 珠江口盆地珠三坳陷石油体系[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(6): 21-26. [ZHU Weilin, LI Mingbi, WU Peikang. Petroleum system in Zhu III depression of Pearl River Mouth Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 1997, 24(6): 21-26.]
- [5] 邓广君,张迎朝,甘军. 文昌 B 凹陷脉动式构造演化及其与油气成藏关系[J]. 断块油气田, 2012, 19(5): 564-567. [DENG Guangjun, ZHANG Yingzhao, GAN Jun. Pulsating tectonic evolution and its relationship with hydrocarbon accumulation in Wenchang B Depression[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2012, 19(5): 564-567.]
- [6] 张迎朝,陈志宏,李绪深,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. [ZHANG Yingzhao, CHEN Zhihong, LI Xushen, et al. Petroleum accumulation characteristics and favorable exploration directions in Wenchang B Sag and its surrounding ar-

- eas, Pearl River Mouth Basin[J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2011, 33(3): 297-302.]
- [7] 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. [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): 384-391.]
- [8] 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. [HE Jiaxiong, CHEN Shenghong, MA Wenhong, et al. The evolution, migration and accumulation regularity of oil and gas in Zhujiangkou basin, northern South China Sea[J]. *Geology in China*, 2012, 39(1): 106-118.]
- [9] 苗顺德,徐建永,印斌浩. 珠江口盆地珠Ⅲ坳陷反转构造特征及有利反转构造区带评价[J]. *天然气地球科学*, 2013, 24(3): 566-573. [MIAO Shunde, XU Jianyong, YIN Binhao. Inverted tectonic characters and prediction of potential area in Zhu-3 Depression of Pearl River Mouth Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2013, 24(3): 566-573.]
- [10] 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. [ZHANG Yingzhao. Hydrocarbon pooling characteristics and pooling patterns in the south fault belt, West Pearl River Mouth Basin[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2012, 47(5): 786-794.]
- [11] 姜华,王华,李俊良,等. 珠江口盆地珠三坳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. [JIANG Hua, WANG Hua, LI Junliang, et al. Fault characteristics and control on petroleum accumulation in the Zhu Ⅲ depression, the Pearl River Mouth Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2008, 30(5): 460-466.]
- [12] 陈骏,徐国强. 珠江口盆地B凹陷断层类型及分布特征[J]. *成都理工大学学报:自然科学版*, 2008, 35(3): 309-316. [CHEN Jun, XU Guoqiang. Type and distribution characteristics of the faults in the B depression of the Zhujiangkou basin, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition)*, 2008, 35(3): 309-316.]
- [13] 罗群. 断裂控烃理论与油气勘探实践[J]. *地球科学*, 2002, 27(6): 750-756. [LUO Qun. Fault controlling hydrocarbon theory and petroleum exploration practice[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geoscience*, 2002, 27(6): 750-756.]
- [14] 龚再升,蔡东升,张功成. 郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用[J]. *石油学报*, 2007, 28(4): 1-10. [GONG Zaisheng, CAI Dongsheng, ZHANG Gongcheng. Dominating action of Tanlu Fault on hydrocarbon accumulation in eastern Bohai Sea area[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(4): 1-10.]
- [15] Tapponnier P, Peltzer G, Armijo R. On the mechanics of the collision between India and Asia[M]. Oxford: Blackwell, 1986: 115-157.
- [16] 茹克. 南海北部边缘叠合式盆地的发育及其大地构造意义[J]. *石油与天然气地质*, 1988, 9(1): 22-30. [RU Ke. The development of superimposed basin on the Northern margin of South China Sea and its tectonic significance[J]. *Oil & Gas Geology*, 1988, 9(1): 22-30.]
- [17] Hall R. Reconstructing Cenozoic SE Asia[G]. Geological Society Special Publication 106, 1996: 153-184.
- [18] 李思田,林畅松,张启明,等. 南海北部大陆边缘盆地幕式裂陷的动力过程及10Ma以来的构造事件[J]. *科学通报*, 1998, 43(8): 797-810. [LI Sitian, LIN Changsong, ZHANG Qiming, et al. Episodic rift of continental marginal basins and tectonic events since 10 Ma in the South China Sea[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(1): 10-22.]
- [19] 戴俊生,李理. 油区构造分析[M]. 北京:石油工业出版社, 2002. [DAI Junshen, LI Li. Structural Analysis of Oil Province[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.]
- [20] 付立新,王东林,肖玉永,等. 伸展断层作用对油气二次运移的影响[J]. *石油大学学报:自然科学版*, 2000, 24(4): 71-74. [FU Lixin, WANG Donglin, XIAO Yuyong, et al. Effect of tensional faulting on secondary migration of hydrocarbon[J]. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 2000, 24(4): 71-74.]
- [21] 聂逢君,姜美珠,李思田. 南海珠江口盆地珠三坳陷油气输导系统研究[J]. *石油实验地质*, 2011, 33(4): 392-400. [NEI Fengjun, JIANG Meizhu, LI Sitian. Petroleum migration system in Zhu Ⅲ Depression, Pearl River Mouth Basin, South China Sea[J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2011, 33(4): 392-400.]
- [22] Allan U S. Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures[J]. *AAPG Bulletin*, 1989, 73(7): 803-811.
- [23] Prestholm E, Walderhaug O. Synsedimentary faulting in a Mesozoic deltaic sequence, Svalbard, Arctic Norway: fault geometries, faulting mechanisms and sealing properties[J]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84(4): 505-552.
- [24] 李春荣,刘豪,辛仁臣,等. 郯庐断裂活动对渤海东南部油气成藏的控制作用[J]. *大庆石油地质与开发*, 2011, 30(2): 6-11. [LI Chunrong, LIU Hao, XIN Rencheng, et al. Dominating action of Tanlu Fault activity on hydrocarbon accumulation in the southeast of Bohai sea area[J]. *Petroleum Geology and Oil field development in Dading*, 2011, 30(2): 6-11.]
- [25] 李春荣,张功成,梁建设,等. 北部湾盆地断裂构造特征及其对油气的控制作用[J]. *石油学报*, 2012, 33(2): 195-202. [LI Chunrong, ZHANG Gongcheng, LIANG Jianshe, et al. Characteristics of fault structure and its control on hydrocarbon in the Beibuwan Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(2): 195-202.]
- [26] 张迎朝,甘军,李辉,等. 伸展构造背景下珠三坳陷南断裂走滑变形机制及其油气地质意义[J]. *中国海上油气*, 2013, 25(5): 9-14. [ZHANG Yingzhao, GAN Jun, LI Hui, et al. Strike-slip deformation mechanism and its petroleum geology significance along south fault in Zhu Ⅲ depression under extensional tectonic setting[J]. *China Offshore Oil & Gas*, 2013, 25(5): 9-14.]
- [27] 雷宝华,郑求根,李俊良,等. 珠三坳陷珠三南断裂形成演化及其对沉积中心迁移的控制[J]. *石油学报*, 2012, 33(5): 807-

813. [LEI Baohua, ZHENG Qiugen, LI Junliang, et al. Formation and evolution of Zhu-3 south fault and its control on the depocenter shift in Zhu-3 depression, Pearl River Mouth Basin[J]. *Acta Petroli Sinica*, 2012, 33(5): 807-813.]
- [28] 姜华, 王华, 李俊良, 等. 珠江口盆地珠三坳陷油气成藏模式与分布规律[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(3): 275-286. [JIANG Hua, WANG Hua, LI Junliang, et al. Research on hydrocarbon pooling and distribution patterns in the Zhu-3 Depression, the Pearl River Mouth Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(3): 275-286.]
- [29] 傅宁, 李友川, 孙建新, 等. 珠三坳陷烃源岩及油源研究再认识[J]. *现代地质*, 2011, 25(6): 1121-1130. [FU Ning, LI Youchuan, SUN Jianxin, et al. Recognition of oil source and source rocks in Zhu Ⅲ Depression[J]. *Geoscience*, 2011, 25(6): 1121-1130.]
- [30] 徐新德, 黄保家, 李里, 等. 珠三坳陷琼海凸起油气运聚研究[J]. *石油勘探与开发*, 2000, 27(4): 41-44. [XU Xinde, HUANG Baojia, LI Li, et al. A study on the migration and accumulation of oil and gas in Qionghai uplift, Zhushan depression[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2000, 27(4): 41-44.]

FAULTS IN THE ZHU-3 DEPRESSION OF PEARL RIVER MOUTH BASIN AND THEIR CONTROL OVER HYDROCARBON ACCUMULATION

LI Hui¹, CHEN Shenghong², ZHANG Yingzhao³, NIU Cuiyin¹,
ZHANG Kunkun¹, YE Qi¹, HU Gaowei¹

(1. Research Institute, Zhanjiang Branch of CNOOC Ltd., Zhanjiang 524057, China;

2. Research institute, Shenzhen Branch of CNOOC Ltd., Guangzhou 510240, China;

3. Exploration and Production Department, Zhanjiang Branch of CNOOC Ltd., Zhanjiang 524057, China)

Abstract: The Zhu-3 depression of the Pearl River Mouth Basin is a stretching petroliferous basin beside the continental margin of the northern South China Sea. Controlled by the tectonic stress field, three periods of faulting activity characterized by three types of fault have been recognized. From Paleocene to early Oligocene, early rifting faults were developed in a direction of Northeast. From late Oligocene to early Miocene, middle strike-slip extensional faults were formed in a direction of approximately East West. And from mid Miocene to present, late strike-slip extensional faults were developed in a direction of Northwest. According to the distribution of the main and secondary faults, there are four combination styles in a plane view, including parallel, pinnate, en echelon, and broom-like. In section, there are three combination styles, including 'Y' like, stair-stepping and negative flower-like. Fault activities have significant controlling effects on hydrocarbon generation, migration and accumulation in the Zhu-3 Depression. Major faults control the distribution of hydrocarbon generation sags and the thermal evolution of source rocks. Fault activities generated various traps of hydrocarbons. The long-term active faults provided major pathways for hydrocarbon migration to shallow reservoirs. Zones with major faults are the most favorable areas for multiple reservoir formation. The step-fault zone on the northern slope of the Wenchang A sag and the anticlinal belt of the Qionghai uplift and Yangjiang lower uplift are the most favorable areas for hydrocarbon migration and accumulation.

Key words: tectonic evolution; fault system; rift fault; hydrocarbon accumulation; Zhu-3 depression