

# 琼东南盆地深水区中央坳陷断裂体系及其对油气成藏的控制

李才, 尤丽, 朱继田, 杨金海, 王利杰

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司)

**摘要** 基于地震地质解释,根据断裂带发育的位置、产状及构造样式,将琼东南盆地深水区中央坳陷自西向东划分为3个断裂体系:乐东—陵水伸展南倾调节断裂体系、北礁—松南—宝岛伸展北倾调节断裂体系以及宝岛—长昌张扭走滑断裂体系。断裂体系控制了生烃凹陷的分布和储集砂体的发育,形成了多种类型的圈闭,提供了油气垂向运移的通道,有利于油气聚集成藏。陵水凹陷—北礁凹陷结合部圈闭发育带、宝岛凹陷南部断阶带、长昌凹陷西部圈闭发育带是有利勘探区带。

**关键词** 琼东南盆地;深水勘探;断裂体系;油气成藏  
**中图分类号**: TE122.1 **文献标识码**: A

## 1 概况

琼东南盆地为南海北部新生代大陆边缘型盆地<sup>[1-2]</sup>,深水区(水深>300m,约占整个盆地面积的2/3,图1)是目前的勘探热点地区。近年在陵水凹陷南部陵水17-2构造(L1井区—L6井区,位置见图1)中新统黄流组获得商业性油气发现,探明天然气地质储量超千亿方,这推动了深水区大片高精度三维地震的采集,从而为中央坳陷深水区成藏条件的深化研究奠定了基础。前人研究认为,琼东南盆地深水区崖城组烃源岩发育,中新统海底扇、中央峡谷水道砂体发育,断裂体系对油气成藏条件的控制起到关键作用<sup>[3-9]</sup>。但由于早期二维地震资料的局限,前期构造研究多从盆地级断裂的定量活动性、发育模式等方面进行分析<sup>[10-11]</sup>,尚缺乏系统的断裂体系划分及不同断裂体系控制油气成藏方面的研究。笔者基于二维、三维资料的地震地质解释,通过对琼东南盆地深水区中央坳陷及周缘不同断裂体系特征差异性的研究,探讨了深水区断裂体系对油气成藏条件的控制作用,这将有利于深水区油气勘探的深化。

## 2 地质背景

在南海北部大陆边缘新生代幕式张裂作用及南海扩张的叠加、改造等共同作用下<sup>[10]</sup>,盆地新生代经历了裂陷期和拗陷期两大演化阶段(图2)。裂陷期主要分为三幕,其中裂陷I幕、II幕分别为盆地的主形成期、扩张期,在SE向伸展应力作用下,继承性发育NE—SW向正断裂,断裂控制了本区两套主要烃源岩(始新统湖相烃源岩和渐新统崖城组海岸平原—浅海相烃源岩)的沉积;裂陷III幕,盆地由断陷向拗陷转化,部分早期断裂停止发育,渐新世末期到早中新世,主应力方向发生右旋,主要发育了NWW向、近EW向张扭断裂,同期沉积了陵水组。古近纪末期,盆地开始进入了裂后热沉降阶段,沉积了中新统三亚组和梅山组;东沙运动(10.5Ma)以来的裂后加速沉降期,南海北部发生区域性沉降,主要发育半深海—深海沉积<sup>[12-16]</sup>。

## 3 断裂体系特征

### 3.1 断裂体系的划分

琼东南盆地中央坳陷主要受控于NE走向的

收稿日期: 2015-01-12; 改回日期: 2015-09-22

本文受国家科技重大专项“南海北部深水区潜在富生烃凹陷评价”(编号:2011ZX05025-002)资助

李才: 1981年生,硕士,高级工程师,主要从事油气田勘探方面的研究。通讯地址: 524057 广东省湛江市坡头区南油一区档案楼油公司研究院; E-mail: llicai345314@sohu.com

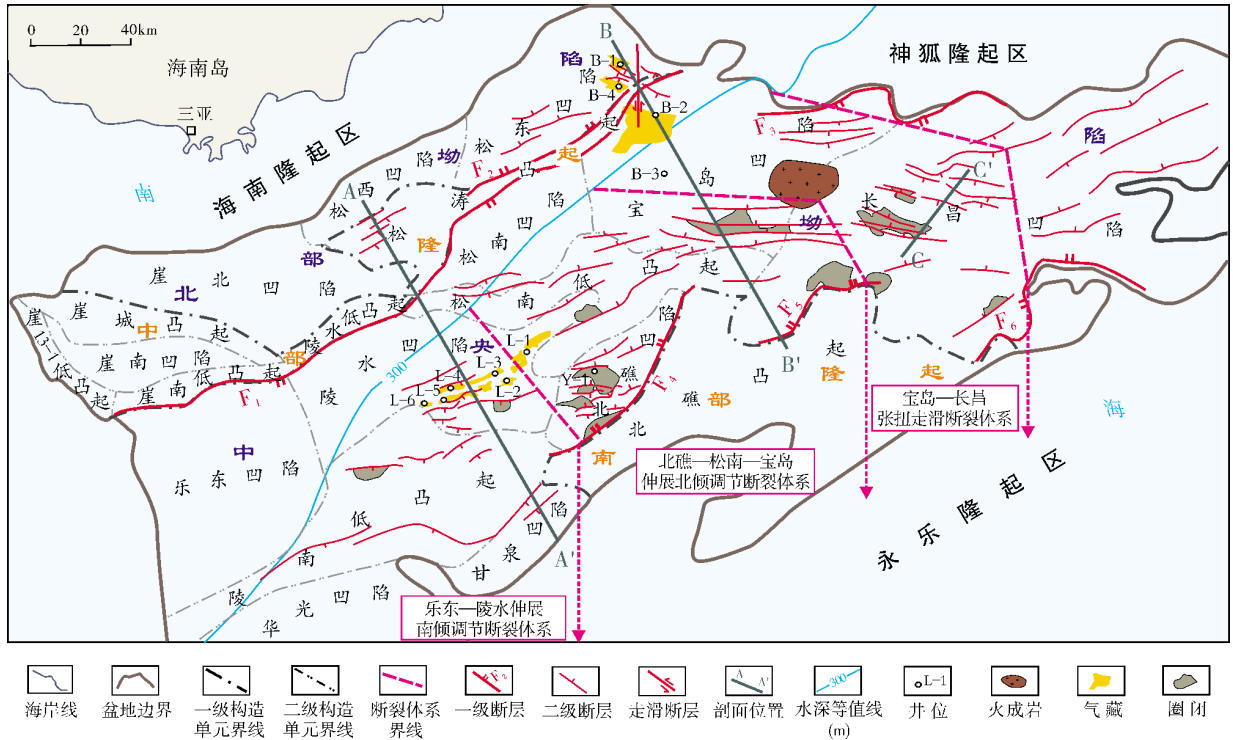


图1 琼东南盆地构造区划及断裂体系

$F_1$ 、 $F_4$ 、 $F_5$ 、 $F_6$ 等一级断裂(凹陷边界断裂)(图1),在不同的构造部位发育了不同的次级断裂类型:(1)调节断裂体系。断裂调节带是指在伸展构造体系中为了维持区域应力和应变平衡,由断距、倾向、走向、平面位置或断裂性质发生变化而形成的、起调节主断裂位移传递作用的构造,它可以是凸起、褶皱、走向斜坡或分支次级断裂<sup>[17]</sup>。本文采用的调节断裂体系,特指主断裂位移传递作用下发育的同向、次级断裂所形成的断裂体系(图3),区内主要位于中央坳陷西部和中部的乐东凹陷、陵水凹陷、北礁凹陷、松南凹陷及宝岛凹陷南部(图1)。(2)走滑断裂体系。主要位于中央坳陷东部的宝岛凹陷北部、长昌凹陷西部,剖面上可见比较典型的负花状构造(图4)。这两种类型的断裂体系平面上具有明显的分带性,基本不重叠。

按照断裂发育的位置、产状及构造样式,中央坳陷可划分为3个断裂体系:乐东—陵水伸展南倾调节断裂体系、北礁—松南—宝岛伸展北倾调节断裂体系及宝岛—长昌张扭走滑断裂体系(图1)。

乐东—陵水伸展南倾调节断裂体系 中央坳陷西部乐东凹陷、陵水凹陷内部发育的断裂具有一定的共性,大致与 $F_1$ 断裂平行,横向延伸最长50km,

倾向相同,基本为SE向(图1),始新统断距大(图3中A—A'剖面),为同沉积断裂。断裂生长指数分析表明,始新世—渐新世崖城期是主活动期,最大断裂生长指数达到3.5,中晚渐新世陵水期断裂活动则相对减弱,断裂生长指数介于1.3~2.0之间。

北礁—松南—宝岛伸展北倾调节断裂体系 中央坳陷中部发育的另外一组断裂,主要位于北礁凹陷、松南凹陷和宝岛凹陷的南部,它们与 $F_4$ 、 $F_5$ 两条一级断裂基本平行,属于一级断裂的调节断裂,倾向基本为NW向(图1),与乐东—陵水伸展南倾调节断裂体系的SE倾向正好相反。断裂生长指数表明,断裂活动时间比较晚,中晚渐新世陵水期开始发育,断裂生长指数最大达2.8,陵水组断距大,主要断裂均切穿始新统一崖城组插入基底(图3中B—B'剖面)。

宝岛—长昌张扭走滑断裂体系 中央坳陷东部的宝岛凹陷、长昌凹陷主要发育SN走向、NW走向的两条走滑断裂带,其中,SN走向断裂带位于浅水区的宝岛凹陷北部斜坡,有一条主干走滑断裂,由浅至深多条侧枝断裂反向交止于主干断裂<sup>[18]</sup>;另外一条NW走向的走滑断裂带位于长昌凹陷西部(图1),平面上,断裂带内主要断裂的组合形态表现为典型的“帚状、

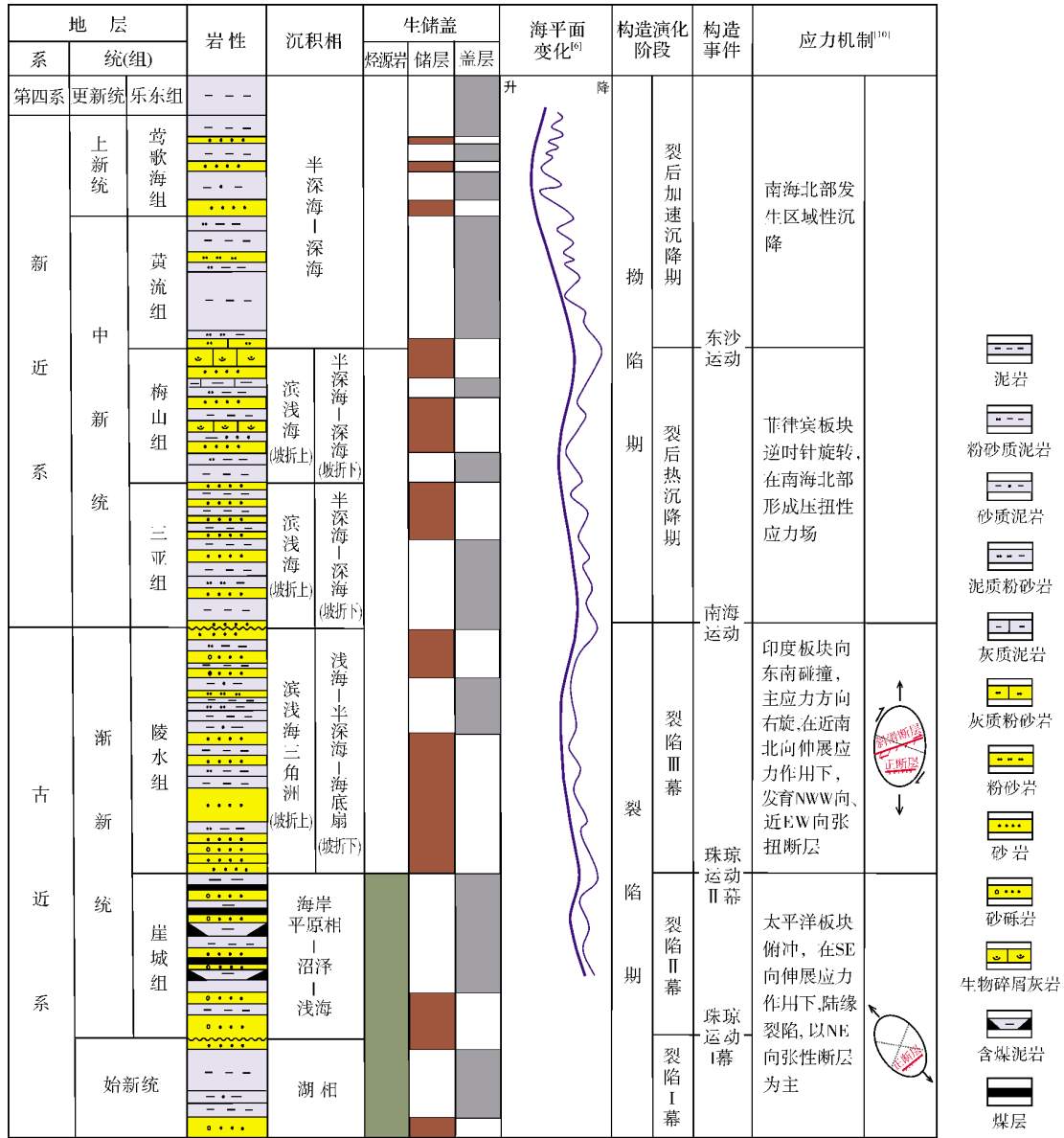


图2 琼东南盆地地层充填和构造演化

雁列状”特征,一个方向收敛、另一个方向撒开的走滑扭动性质比较明显,根据雁行式断裂中相邻断裂端部尖灭侧的依次排列,判断长昌凹陷NW向走滑断裂带为右行走滑,这与宝岛凹陷北部斜坡的SN向走滑断裂带的左行不同;剖面上,在张扭应力条件下主断裂及分支断裂多具有正滑距,构成向形构造,负花状特征比较明显(图4)。

### 3.2 不同断裂体系的形成机制

中生代太平洋板块的NW向俯冲,在华南陆缘

形成了NE走向的挤压软弱带,始新世—早渐新世太平洋板块俯冲后撤时,在SE向张应力背景下,南海北部陆缘发生裂陷(图2),形成了以NE走向为主导方向的半地堑式的裂陷群<sup>[10]</sup>。裂陷 I 幕、II 幕,琼东南盆地因边界条件及拉伸量不同,NE走向的F<sub>1</sub>、F<sub>4</sub>、F<sub>5</sub>、F<sub>6</sub>等一级断裂及部分调节断裂开始发育,其中,F<sub>1</sub>断裂是盆地内断距最大、延伸最长的断裂;受一级断裂的控制,在中央坳陷西部的陵水凹陷、北礁凹陷西部发育了一系列NE走向的伸展调节断裂(图1,图3);在中央坳陷中东部,受神狐隆起区及盆

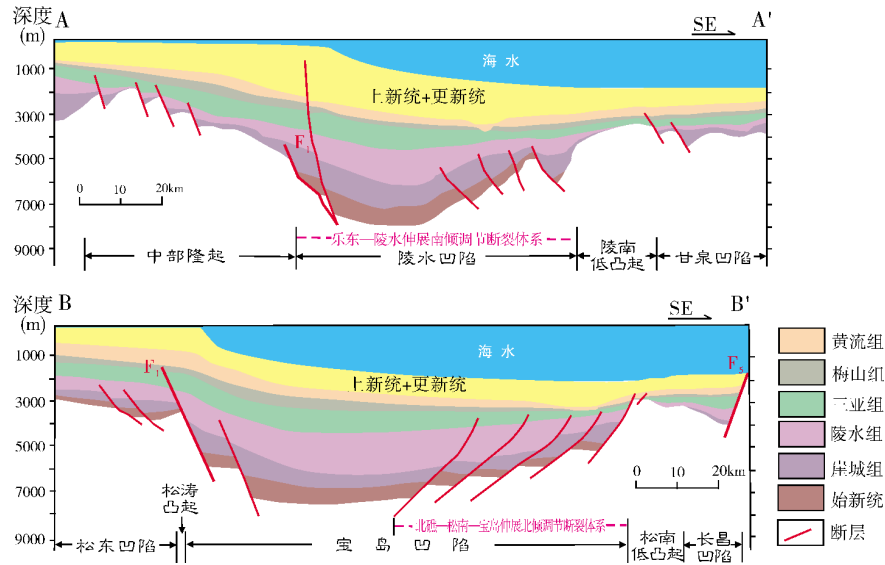


图3 琼东南盆地地震地质解释剖面

A—A'、B—B'剖面位置见图1

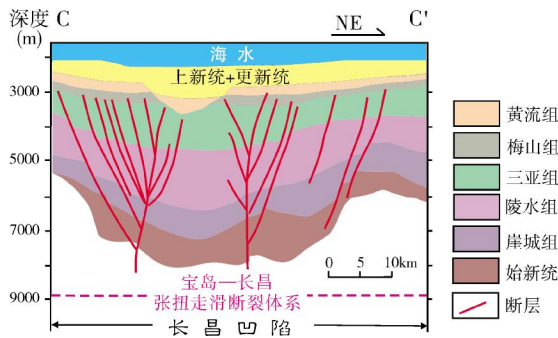


图4 琼东南盆地长昌凹陷地震地质解释剖面

C—C'剖面位置见图1

内南部隆起等刚性体的影响,不同部位NW—SE向的伸展量发生变化,在宝岛凹陷北部、长昌凹陷西部形成了两条走滑断裂带,断裂具有张扭—走滑性质,构成了宝岛—长昌张扭走滑断裂体系(图1)。

裂陷Ⅲ幕的构造活动强度相对有所减弱,受印度板块—欧亚板块碰撞的影响,主应力方向发生了右旋,早期NW—SE向张应力变为近SN向<sup>[10]</sup>(图2)。盆地内早期发育的部分断裂停止活动,而F<sub>1</sub>一级断裂及其派生调节断裂则继承性发育;F<sub>4</sub>、F<sub>5</sub>、F<sub>6</sub>这3条一级断裂的派生调节断裂在北礁凹陷、宝岛凹陷同期产生,断裂走向基本为NEE或EW向(图1,图3);受右旋应力影响,宝岛—长昌走滑断裂体系主干走滑断裂与分支断裂多具有正滑距,整体上表现为负花状构造(图4)。

## 4 断裂体系对油气成藏条件的控制

### 4.1 断裂对生烃凹陷的控制

始新世—早渐新世是琼东南盆地裂陷活动最强烈的时期,主要发育了始新统、渐新统崖城组两套烃源岩(图2)。盆内各凹陷的沉降中心明显受到NE走向的边界大断裂活动的控制,其中,乐东凹陷、陵水凹陷、松南凹陷、宝岛凹陷的沉降中心均位于F<sub>1</sub>一级边界断裂的下降盘(图1,图3),北礁凹陷则位于F<sub>4</sub>边界断裂的下降盘。根据地震地质解释成果,中央拗陷西部始新统残余地层厚度为902~1397 m,崖城组厚度为1064~3417 m;中央拗陷东部的长昌凹陷,受宝岛—长昌张扭走滑断裂体系的控制,沉降中心位于长昌凹陷西部的走滑断裂带之间,始新统残余地层厚度为1038 m,崖城组为1790 m。

具体到始新统烃源岩,目前尚无钻井可确定该套烃源岩的品质。盆内深水区的Y-1井(北礁凹陷内,井位见图1)在中新统三亚组发现了油层,地化分析表明,原油的芳烃含量非常低,含C<sub>30</sub>-4甲基甾烷,C<sub>30</sub>-4甲基甾烷生物标志化合物主要来自藻类,这在南海北部盆地中的深湖相源岩中具有很好的指示意义,由此间接证明了始新统湖相腐泥型烃源岩的存在。

在长昌凹陷北坡、松南低凸起、陵南低凸起、北礁凹陷,钻井均证实了崖城组浅海—沼泽相煤系烃源岩比较发育。该套烃源岩有机质含量较高,有机碳

含量最高达到20.8%,一般为0.6%~1%;生烃潜力最高达60 mg/g;主要为Ⅱ<sub>2</sub>—Ⅲ型干酪根,以生气为主;R<sub>0</sub>介于1.3%~3.0%,为有效气源岩。

#### 4.2 断裂对深水有利储集砂体分布的控制

盆地内以边界断裂为代表的同沉积断裂以及在此背景下发育的隐伏性坡折,对古近系沉积具有明显的控制作用。以北礁—松南—宝岛伸展北倾调节断裂体系为例,北礁凹陷的F<sub>4</sub>边界断裂发育了两种

类型的断裂转换带(图5a)。借鉴Morley分类<sup>[19]</sup>和相关学者的研究<sup>[17]</sup>,本文的“共线硬连接转换带”是指两条平行且倾向相同的断裂在端部相接成一条断裂,且在连接部位形成的转换带断距一般比较小;“叠覆型断裂转换带”是指发育期内两条倾向相同、部分叠置的断裂所形成的结合部位。这两种类型的转换带均可作为来自南部隆起的河流携带碎屑物质入盆的有利通道,在凹陷内继承性地发育了崖城组扇三角洲(图5a,5b)、陵水组海底扇储集体。

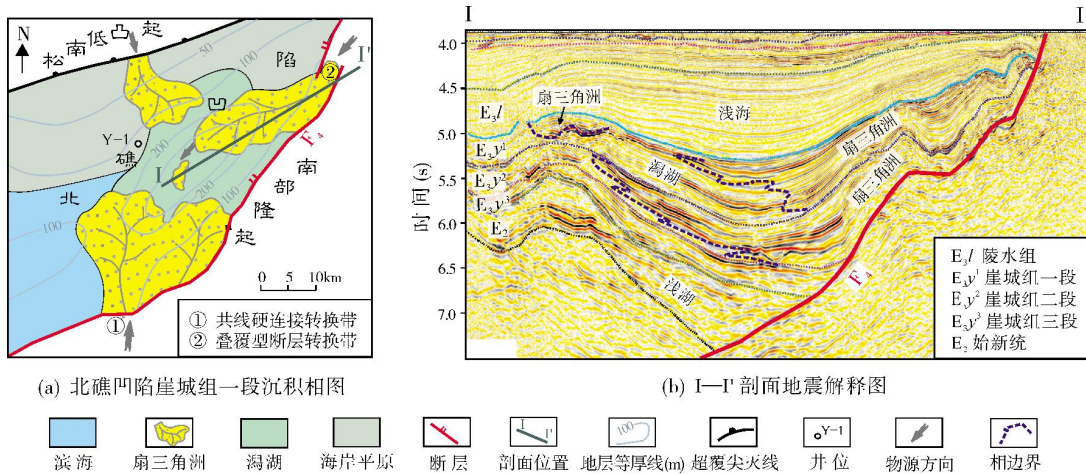


图5 琼东南盆地北礁凹陷崖城组沉积体系的地震地质解释

长昌凹陷南部F<sub>5</sub>、F<sub>6</sub>一级边界断裂发育区,陵水组、三亚组隐伏性坡折的存在,使得来自南部隆起的物源在坡折下形成海底扇沉积,并大范围分布;长昌凹陷西部走滑断裂带则控制了古近系的古地貌低部位(图4),使得此地成为长昌凹陷主要的沉降中心。

#### 4.3 断裂体系对圈闭的控制

**伸展断裂体系对圈闭的控制** 受乐东—陵水伸展南倾调节断裂体系、北礁—松南—宝岛伸展北倾调节断裂体系的控制,北礁凹陷西部、靠近与陵水凹陷结合的部位以及宝岛凹陷南部断阶带发育了多个断鼻、断背斜圈闭(图1)。此外,受控于F<sub>5</sub>一级断裂,长昌凹陷南部也发育多个断背斜、断块圈闭(图1)。

**走滑断裂体系对圈闭的控制** 受张扭应力控制,宝岛—长昌张扭走滑断裂体系纵向上负花状构造特征清楚,负花状构造的“花心”部位、弧形断裂内侧的反向断裂容易形成断块、断鼻及背斜等圈闭类型。区内宝岛凹陷北部的SN向走滑断裂带发育了多个断鼻、断背斜圈闭,钻探已发现多个含气构造(图1);长昌凹陷西部的NW向走滑断裂带同样发育了多个断

块、断鼻及背斜等圈闭,它们也是潜在的勘探目标。

#### 4.4 断裂体系对油气成藏的控制

乐东—陵水伸展南倾调节断裂体系和北礁—松南—宝岛伸展北倾调节断裂体系主要发育在中央坳陷带的西部和中部,古近系边界断裂控制了扇三角洲、海底扇等多种类型储集体的发育,这些储集体与厚层泥岩可形成较好的储盖组合。调节断裂控制了圈闭的发育,特别是北礁凹陷与陵水凹陷的结合部位以及宝岛凹陷南部,发育了断背斜、断鼻等类型的圈闭。长期继承性活动的伸展断裂具有良好的开启性,它们是沟通凹陷深部高势烃源岩层系与浅部或其他低势油气聚集区的最佳运移通道。上述地质条件的配置,有利于油气运聚成藏,因此,琼东南盆地深水区中,中央坳陷应具有较好的勘探前景。

长昌凹陷西部NW向走滑断裂带控制了凹陷的沉降中心,始新统—崖城组烃源岩厚度大,陵水组—三亚组海底扇发育,走滑断裂带发育多个断块、断鼻及背斜圈闭,主干断裂及较大分支断裂是油气垂向、近源运移的主要通道,这些地质条件的配置有利于形成油气聚

集。作为例证,区内宝岛凹陷北部 SN 向走滑断裂带所控制的圈闭已证实为含气构造,国内不同地区的走滑断裂带也已经发现了多个油气藏或油气田<sup>[20-22]</sup>。

## 5 结论

(1)琼东南盆地深水区中央坳陷自西向东可划分为 3 个断裂体系:乐东—陵水伸展南倾调节断裂体系,受 F<sub>1</sub> 一级断裂控制,倾向 SE,始新世—渐新世崖城期是主活动期;北礁—松南—宝岛伸展北倾调节断裂体系,属于 F<sub>4</sub>、F<sub>5</sub> 一级断裂的调节断裂,倾向 NW,渐新世陵水期才开始发育;宝岛—长昌张扭走滑断裂体系,在宝岛凹陷北部、长昌凹陷西部分别发育 SN 走向、NW 走向的两条走滑断裂带。

(2)一级断裂控制了生烃凹陷和储集砂体的发育,伸展调节断裂体系、走滑断裂体系控制了多种类型圈闭,长期继承性活动的伸展断裂、走滑断裂带是油气垂向运移的主要通道,这些地质条件的有效配置有利于油气聚集成藏。陵水凹陷与北礁凹陷结合部圈闭发育带、宝岛凹陷南部断阶带、长昌凹陷西部圈闭发育带,具有较好的油气勘探前景。

### 参考文献

- [1] 张功成,米立军,吴时国,等.深水区——南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域[J].石油学报,2007,28(2):15-21.
- [2] 刘铁树,何仕斌.南海北部陆缘盆地深水区油气勘探前景[J].中国海上油气(地质),2001,15(3):164-170.
- [3] 蔡周荣,刘维亮,王志峰,等.南海北部新生代构造运动厘定及与油气成藏关系探讨[J].海洋通报,2010,29(2):161-165.
- [4] 吕宝凤,殷征欣,蔡周荣,等.南海北部新生代构造演化序列及其油气成藏意义[J].地质学报,2012,86(8):1249-1260.
- [5] 吴玉坤,胡明毅,刘志峰,等.琼东南盆地崖北凹陷崖城组沉积相及煤系烃源岩分布[J].天然气地球科学,2013,24(3):582-590.
- [6] 苏明,解习农,王振峰,等.南海北部琼东南盆地中央峡谷体系沉积演化[J].石油学报,2013,34(3):467-478.
- [7] 李冬,王英民,王永凤,等.琼东南盆地中央峡谷深水天然堤—溢岸沉积[J].沉积学报,2011,29(4):689-694.
- [8] 王振峰,李绪深,孙志鹏,等.琼东南盆地深水区油气成藏条件和勘探潜力[J].中国海上油气,2011,23(1):7-13.
- [9] 陈欢庆,朱筱敏,张功成,等.琼东南盆地深水区古近系陵水组输导体系特征[J].地质学报,2010,84(1):138-148.
- [10] 谢文彦,张一伟,孙珍,等.琼东南盆地断裂构造与成因机制[J].海洋地质与第四纪地质,2007,27(1):71-78.
- [11] 尹新义,任建业,裴健翔,等.琼东南盆地断裂活动性定量计算及其发育演化模式[J].高校地质学报,2010,16(3):388-396.
- [12] 廖计华,王华,孙志鹏,等.琼东南盆地深水区长昌凹陷构造演化及其对层序样式的控制[J].中南大学学报:自然科学版,2012,43(8):3121-3132.
- [13] 雷超,任建业,李绪深,等.琼东南盆地深水区结构构造特征与油气勘探潜力[J].石油勘探与开发,2011,38(5):560-569.
- [14] 朱伟林.南海北部深水区油气勘探关键地质问题[J].地质学报,2009,83(8):1059-1064.
- [15] 李才,朱继田,尤丽,等.琼东南盆地长昌凹陷断裂带特征及其油气藏勘探意义[J].天然气地球科学,2014,25(3):372-378.
- [16] 廖计华,王华,肖军,等.琼东南盆地古近纪幕式裂陷及构造、层序和沉积的综合响应过程[J].吉林大学学报:地球科学版,2012,42(4):970-983.
- [17] 李宝刚.高邮凹陷断裂调节带发育特征及其石油地质意义[J].中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(1):19-32.
- [18] 韩光明,李绪深,王立锋,等.琼东南盆地宝岛凹陷北坡断裂体系新认识及与天然气成藏关系[J].天然气地球科学,2013,24(2):352-355.
- [19] Morley C K, Nelson R A, Patton T L, et al. Transfer zones in the East African Rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(8): 1234-1253.
- [20] 吴晓智,李佰华,吕修祥,等.库车前陆盆地走滑断裂形成机理及其对油气的控制[J].新疆石油地质,2010,31(2):118-121.
- [21] 王文革,张志攀,卢异,等.黄骀坳陷歧口凹陷新生代走滑断裂特征及控盆作用[J].天然气地球科学,2012,23(4):713-719.
- [22] 究鹏,王六柱,余朝华,等.济阳坳陷垦东走滑断裂构造特征及其对油气成藏的影响[J].天然气地球科学,2009,20(1):100-107.

编辑:董庸

## Effect of Fault Systems on Hydrocarbon Accumulation in Central Depression Below Deep Sea, Qiongdongnan Basin

Li Cai, You Li, Zhu Jitian, Yang Jinhai, Wang Lijie

**Abstract:** Based on seismic geologic interpretation, three series of fault systems are classified in Central Depression (deep water area) of Qiongdongnan Basin with integrated characteristics of faults position, attitude, morphology and structural types: (1) Ledong-Lingshui extensional S-trending fault system, (2) Beijiao-Songnan-Baodao extensional N-trending fault system and (3) Baodao-Changchang transtensional strike-slip fault system. The formation and evolution of faults mainly control the distribution of hydrocarbon-generating depressions and the development of reservoir sand bodies, which provides various traps with major pathways favorable for hydrocarbon migration. It is believed that the favorable plays are located in the trap belt between Lingshui Sag and Beijiao Sag, the southern fault belt in Baodao Sag and the trap belt in the west of Changchang Sag.

**Key words:** Qiongdongnan Basin; Deep water exploration; Fault system; Hydrocarbon accumulation

Li Cai; MSc., Senior Engineer. Add: CNOOC Zhanjiang Branch Company, Potou, Zhanjiang, Guangdong, 524057, China