

doi: 10.3799/dqkx.2010.014

# 南沙海域礼乐盆地油气资源潜力

孙龙涛<sup>1</sup>, 孙 珍<sup>1</sup>, 詹文欢<sup>1</sup>, 刘海龄<sup>1</sup>, 樊 浩<sup>2</sup>

1. 中国科学院边缘海地质重点实验室, 南海海洋研究所, 广东广州 510301

2. 辽河油田海南油气分公司, 辽宁盘锦 124010

**摘要:** 礼乐盆地是南沙海域热点研究区域。为揭示该盆地油气资源潜力, 依据礼乐盆地地震剖面、钻井及拖网资料, 对礼乐盆地的油气成藏控制因素进行综合分析, 进而探讨该盆地的油气成藏潜力。中生代和古新世—早渐新世沉积是主要烃源岩; 晚渐新世礁体以及中生代风化碎屑岩是主要储层; 识别出晚渐新世—早中新世礁体和中生代晚期风化剥蚀而形成的断块构造是最主要的圈闭类型。长期活动断层沟通底部中生代地层和浅层礁体, 是主要的油气垂向运移导体, 控制了礼乐盆地油气的空间分布。晚中新世的菲律宾弧碰撞运动类似南海北部东沙运动, 有利于排烃和油气运移, 之后构造活动减弱, 有利于稳定成藏。礼乐盆地具备油气成藏的 6 大要素条件, 盆地中、东部断裂发育区是盆地油气运聚成藏的优势前景区域。

**关键词:** 礼乐盆地; 断裂; 中生代; 油气成藏; 资源潜力; 石油地质。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2010)01-0137-09

收稿日期: 2009-07-20

## Petroleum Potential Prediction of the Lile Basin in Nansha

SUN Long-tao<sup>1</sup>, SUN Zhen<sup>1</sup>, ZHAN Wen-huan<sup>1</sup>, LIU Hai-ling<sup>1</sup>, FAN Hao<sup>2</sup>

1. CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

2. Hainan Oil & Gas Exploration Company, Liaohe Oilfield PetroChina, Panjin 124010, China

**Abstract:** Lile basin is a hot research spot in Nansha area. We probe into the petroleum potential of Lile basin based on geological and geophysical analysis of seismic profiles, wells and dredging data. All necessary elements for a hydrocarbon accumulation are analyzed in the basin. We suggest that the Mesozoic to early Cenozoic sediments are the major source rock. Potential reservoirs include the late Oligocene reefs and Mesozoic aerated layer. The principal play-types recognized in the basin are the Late Oligocene to Early Miocene reefs and erosional Mesozoic faulted blocks. Long term active faults connect the Mesozoic source rock and shallow layer play, so the faults are major transport channel and control the spatial distribution of hydrocarbon reservoir. Similar to the Dongsha movement in the northern of South China Sea, Late Miocene tectonic event was good for hydrocarbon migration. The attenuated tectonic movement thereafter benefited the hydrocarbon accumulation.

**Key words:** Lile basin; fault; Mesozoic; hydrocarbon accumulation; petroleum potential; petroleum geology.

礼乐盆地一直是南沙海域研究的热点区域。菲律宾石油公司、德国“太阳号”、中国科学院南海海洋研究所及广州海洋地质调查局等对礼乐盆地已开展多次调查, 主要是围绕油气资源而展开。虽然礼乐盆地尚无开发性油田, 但 1976 年 Amoco/Salen 公司开始在礼乐滩钻探 Sampaguita-1 井, 产出天然气  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 凝析油 24 桶/d, 说明有一定的油气资源潜

力。目前, 礼乐盆地不仅是“十一五”国家科技部南沙研究的重点区域, 也是中菲越合作勘探区域。外国石油公司勘探区域正逐步向菲律宾西侧深水区域靠近, 所以我国加大对礼乐盆地深水区域的研究迫在眉睫。

本文将主要依据中国科学院海洋研究所在 1989 年南沙调查航次所采集的地震资料, 同时结合 BGR 航次的地震、拖网以及石油公司的钻井资料, 分析礼

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(No. KZCX2-YW-Q05-04); 国家自然科学基金项目(No. 40806022); 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(No. 2007CB41170405); “十一五”国家科技支撑计划项目(No. 2006BAB19B00); 中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿项目(No. SQ200714); 中科院边缘海地质重点实验室开放基金(No. MSG10706)。

作者简介: 孙龙涛(1978—), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事海洋地质和石油地质研究。E-mail: zhensun@scsio.ac.cn

乐盆地沉积、构造特征, 以及各种成藏要素, 评价盆地成藏可能性以及油气资源潜力, 重点研究中生代地层的生油潜力, 为今后的油气勘探提供参考.

### 1 区域构造背景

礼乐盆地位于南沙群岛东北侧, 范围在 115°08' ~ 118°30' E, 9°00' ~ 12°20' N 之间, 分别与礼乐滩、巴拉望盆地和南沙海槽盆地相邻. 礼乐盆地总体呈 NE-SW 向展布, 面积约 5.5 × 10<sup>5</sup> km<sup>2</sup> (图 1). 目前已有众多文献对礼乐盆地及南沙区域的构造演化进行了讨论 (Taylor and Hayes, 1980, 1983; Holloway, 1982; Briais et al., 1993; Zhou et al., 1995; Schlueter et al., 1996; 金庆焕和李唐根, 2000; 姚永坚等, 2002; Hutchison, 2004; Yan and Liu, 2004; Sun et al., 2006; 孙珍等, 2009). 通过对南海构造演化重建研究 (Holloway, 1982; Zhou et al., 1995), 笔者认为礼乐滩、巴拉望岛和卡拉棉群岛在中生代末之前仍是华南大陆的一部分, 主要证据为西北巴拉望、卡拉棉群岛和民都洛群岛存在和华南大陆类似的二叠纪灰岩和未变质的早三叠纪至晚侏罗纪沉积岩 (Fontaine et al., 1983). 晚白垩纪—早渐新世阶段, 古南海北部陆缘受 SE 向拉张作用开始张裂, 坳陷构造发育, 这在礼乐盆地和巴拉

望区域的地震剖面中可清楚看到 (图 2). 晚渐新世南海海盆开始张开, 礼乐盆地随南沙地块向南运移 (Taylor and Hayes, 1980; 姚伯初等, 2004), 中中新世, 巴拉望地块与菲律宾弧相碰 (Schlueter et al., 1996), 扩张停止, 礼乐盆地停止于现今位置 (Briais et al., 1993). 礼乐盆地所经历的张裂—漂移—碰撞沉降的构造历史, 在沉积物沉积样式中均有反映.

礼乐盆地早期断裂较为发育, 以半地堑构造为主要类型. 以 T<sub>4</sub> 层面为界, 断裂分为上下两套断裂系统 (图 3a). 下断裂系统是古华南陆缘新生代早期的张裂作用的产物, 走向 NE, 倾向 NW, 断裂倾角约 50°, 断距较大, 多为板状断层, 局部呈多米诺骨牌式展布, 使中生代地层翘倾旋转, 形成古华南陆缘最早期的坳陷构造. 上断裂系处于 T<sub>4</sub> 界面之上, 倾角较陡, 断距不大, 对沉积的控制较弱, 推测为后期局部沉积均衡沉降和菲律宾板块 NW 向仰冲在礼乐盆地的构造响应, 在盆地东侧受仰冲作用影响尤为明显, DPS-93-02 剖面东侧的逆断层便是较好证明 (图 2b).

### 2 构造地层特征

从礼乐盆地多道地震剖面中, 识别出晚白垩纪与晚渐新世形成的两个区域性不整合面 T<sub>g</sub> 和 T<sub>4</sub>

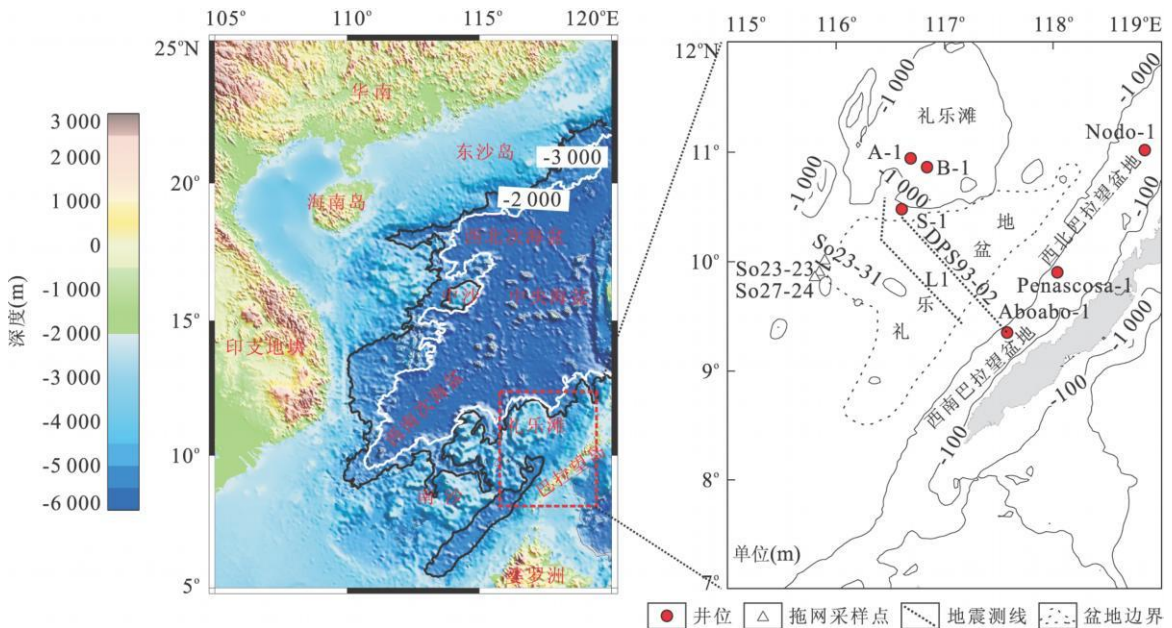


图 1 研究区区域概况图

Fig. 1 Regional map of the research area

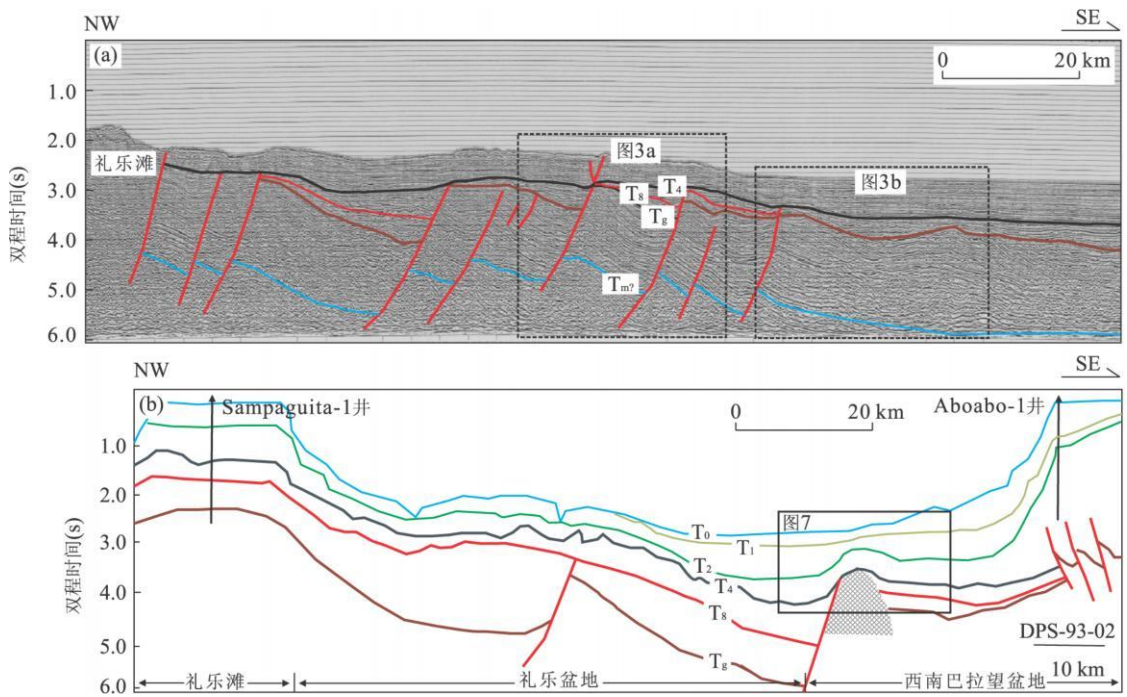


图 2 横穿礼乐盆地地震剖面

Fig. 2 Regional seismic profile across the Lile basin

a. L1 测线; b. DPS-93-02 测线; 位置见图 1

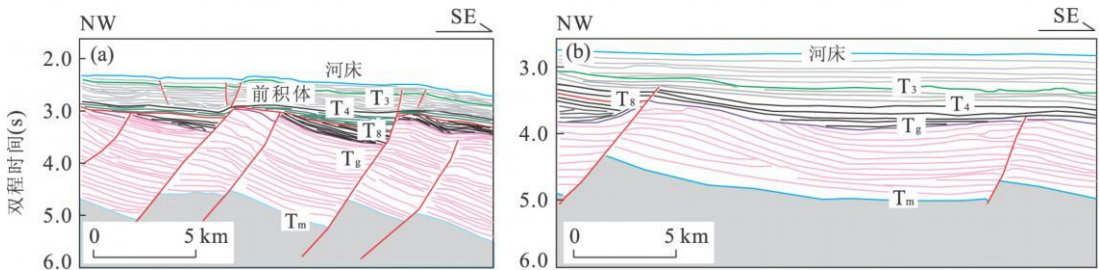


图 3 礼乐盆地解释剖面

Fig. 3 Interpretation profile in Lile basin

a. 翘倾断块; b. 宽缓断背斜; 位置见图 2

(图 2), 将沉积层分为 3 套地震层序: (1)裂前构造层——中生代沉积, 沉积与亚洲大陆和特提斯洋沉积相关; (2)张裂构造层——晚中生代至早渐新世沉积, 属于典型的张裂期半地堑沉积充填样式, 物源主要为华南大陆; (3)裂后构造层——晚渐新世至今沉积, 南海张开, 礼乐盆地随南沙地块南移, 并经历中新世的弧陆碰撞, 以碳酸盐岩沉积为主. 各阶段沉积相及岩性见图 4.

### 2.1 裂前构造层——中生代地层

钻井 (Taylor and Hayes, 1980, 1983)、拖网 (Kudrass *et al.*, 1986) 和地震资料充分证实了礼乐盆地内广泛发育有厚度较大的中生代地层 (夏戡原和黄慈流, 2000; 阎贫等, 2005; 孙龙涛等, 2008). 在

地震剖面中, 表现为震相低频、较稀疏和倾斜层状, 厚约 2 500 ~ 3 000 m, 与上覆新生代地层呈明显的角度不整合接触 (图 2), 接触面为强反射界面. 主要表现为两种构造样式: 翘倾断块和宽缓褶皱 (图 3). 由中生代地层的构造样式可见, 礼乐盆地中生代地层首先受太平洋板块 NW 向俯冲的挤压作用, 形成宽缓的挤压褶皱构造 (Yan and Liu, 2004), 局部遭受剥蚀, 与上覆地层形成角度不整合. 新生代初期受张裂作用影响, 地层沿断裂发生旋转伸展, 地层翘倾旋转, 垒堑构造发育 (孙龙涛等, 2008). 同时研究区周边钻井基本没有钻遇晚白垩纪沉积 (夏戡原和黄慈流, 2000), 表明该时间阶段古南海陆缘出露, 遭受剥蚀.

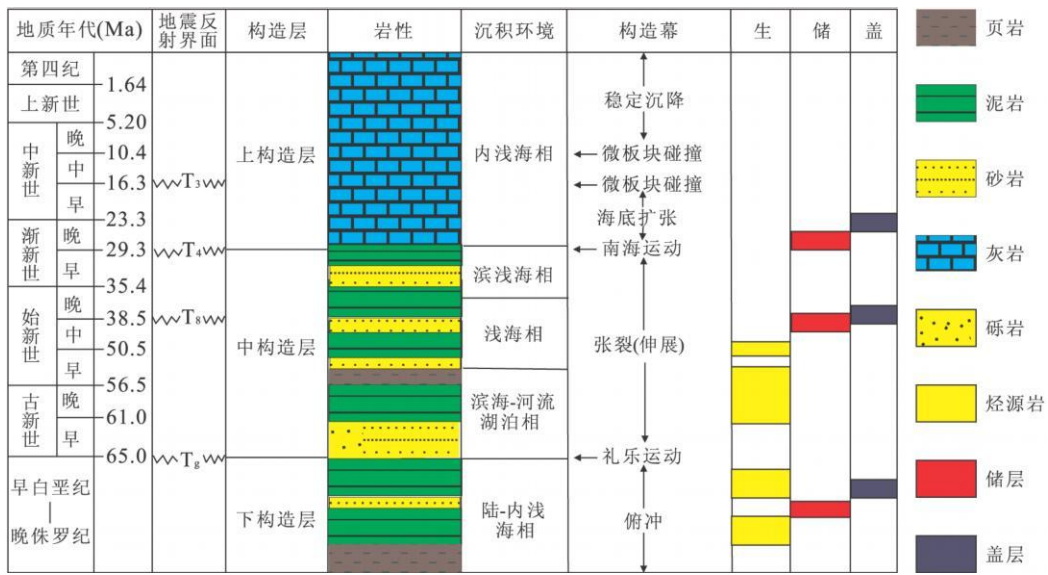


图 4 礼乐盆地地层柱状图(Sales et al., 1997)

Fig. 4 Stratigraphic column of the Lile basin

## 2.2 张裂期沉积——晚中生代至早渐新世沉积

现有的钻井资料揭示(Sales et al., 1997), 晚白垩纪—晚古新世早期, 礼乐盆地和西北巴拉望整体出露水面, 未接受沉积, 而中生代地层受拉张作用翘倾旋转, 形成一系列 NE 半地堑, 为新生代地层沉积提供了可容空间(图 3a)。在两条测线中, 均能够追踪到该套地层, 地震相表现为准平行至发散的反射结构到地垒带上的非相干反射结构, 沉积中心位于主断层下降盘一侧, 厚度从沉积中心往隆起方向减薄或缺失, 呈典型的楔形半地堑充填样式。部分区域的新生代沉积始于中始新世(T<sub>8</sub>), 在裂谷区(图 3a)T<sub>8</sub> 面之上沉积表现出海侵上超沉积特征。由于断层在这一时期继续发育, 沉积层仍以半地堑样式充填; 在南部宽缓褶皱区(图 3b), 没有 T<sub>8</sub> 界面, 表明该区一直出露, 直至 T<sub>8</sub> 时开始接受沉积, 基底表现出明显的拗陷特征, 沉积中心有向南迁移的趋势。

## 2.3 裂后期沉积——晚渐新世至今沉积

T<sub>4</sub> 是研究区分布范围最广的水平不整合面, 其上地层以连续、低频准平行反射组成的内反射结构为特征, 未见明显张裂构造, 所以可以认为 T<sub>4</sub> 对应礼乐盆地的张裂结束期为 30 Ma(孙龙涛等, 2008)。T<sub>4</sub> 之后南海海盆张开, 礼乐地块整体向南漂移, 盆地进入整体沉降阶段, 其上海相地层广泛发育, 形成披覆盖层沉积, 局部在 T<sub>3</sub> 界面有拱起。随南海海盆的扩张, 礼乐地块从华南陆缘裂离向南漂移, 最终定位于现今位置, 以浅海相碳酸盐岩和碎屑岩沉积序列为主, 是碳酸盐岩储集层发育的有利时期。16 Ma

弧陆碰撞(Hall, 2002), 盆地漂移结束, 进入区域沉降阶段。该阶段构造活动较弱, 局部区域拱起, 并伴有小断层发育(图 3a), 沉积浅海—半深海砂、泥相和台地碳酸盐岩、生物礁相地层(张莉等, 2003), 其中隆起区以碳酸盐岩和生物礁沉积为主, 凹陷区则以碎屑岩沉积为主, 盆地沉降与沉积速率相对缓慢。

## 3 石油地质条件分析

### 3.1 烃源岩

中生代蕴藏的石油资源量占全球石油资源量的 80.4%, 天然气占全球 62.9%, 在所有层系中遥遥领先, 其中又以白垩纪(29%)和侏罗纪(25%)占首位(Klemme and Ulmishak, 1991)。依据对南海构造演化重建以及古生物的对比研究认为, 中生代时礼乐盆地位于华南陆缘, 同潮汕坳陷和台西南盆地相临近(Taylor and Hayes, 1980; 夏戡原和黄慈流, 2000), 所以其沉积环境与南海北部潮汕坳陷、台南盆地以及北巴拉望盆地有一定的相似性和可比性, 同属特提斯海沉积环境(夏戡原和黄慈流, 2000), 所以应重视礼乐盆地中生代地层的生烃潜力。

东沙隆起钻井 MZ-1-1 钻井资料证实, 下构造层为中生代沉积, 从中—晚侏罗纪到白垩纪水深经历了由浅到深, 然后又转为陆地的一个完整旋回(邵磊等, 2007)。台西南盆地已有十几口井钻遇中生代地层, 其中中央隆起 CFC 构造上的 CFC-3 井 4 050 m 处有机碳含量达 1.13%, 属于较好的烃源

岩,其上砂岩及上覆的渐新世见大量油气显示.经历3年勘探,除证实白垩纪地层确有丰富的油气蕴藏外,发现其下伏有侏罗纪地层.在侏罗纪地层中,厚层黑色页岩可以作为良好生油岩与盖层,其油母质镜反射率介于0.8%~1.2%,接近产气巅峰期(夏戡原和黄慈流,2000).

目前在南沙东北部有7口井钻遇中生代地层,主要分布于南沙地块东部的礼乐盆地、北巴拉望盆地与西巴拉望盆地. Sampaguita-1井是研究礼乐盆地地层对比以及油气资源评价的重要依据,在3400m处钻遇早白垩世含煤碎屑岩系(图5),其上部由带一些褐煤层的砂质页岩和粉砂岩组成,下部

由集块岩、砾岩和偶尔含有粉砂岩互层的分选差的砂岩组成,地层岩性变化大(钻遇厚度约700m,未穿).生油气层为下白垩纪及中始新世,岩性为外浅海相页岩和粉砂岩,有机碳含量最高为1.5%~2.0%.储层为上始新世—中渐新世浅海相砂岩、砂质页岩与三角洲砂岩,盖层为中始新世泥岩(周蒂,2002),获约 $3.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ 天然气及115~125桶/d凝析油,生、储、盖组合为自生自储型. Aboabo-1井岩性与Sampaguita-1井有较大差别,前者已明显受仰冲作用影响,出现新老地层混杂情况(图5). Aboabo-1井浅层主要是泥砂混合岩,而不是碳酸盐岩,表明该构造位置明显受后期挤压隆升作用控制,

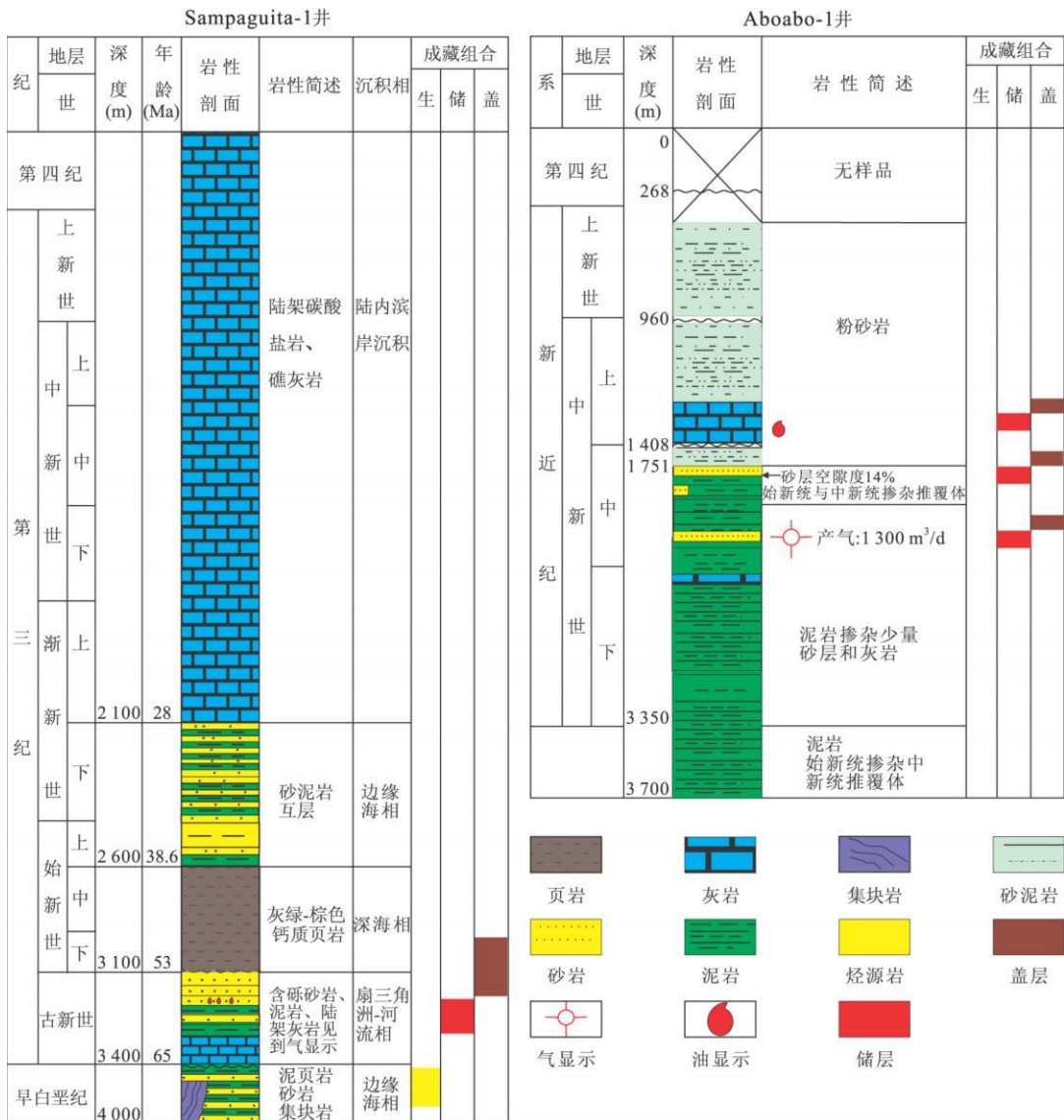


图 5 Sampaguita-1井和 Aboabo-1井柱状图(Taylor and Hayes, 1980)

Fig. 5 Histogram of Sampaguita-1 and Aboabo-1 well

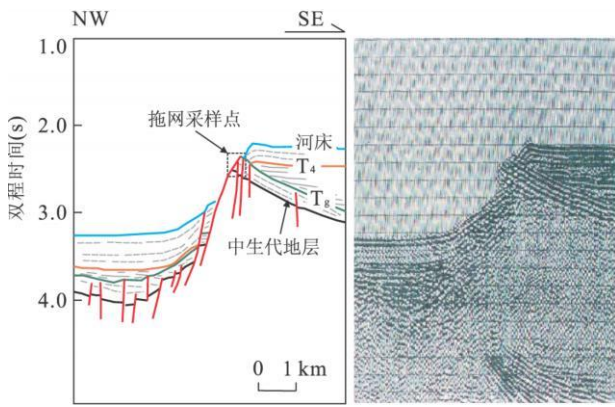


图 6 S023-31 拖网位置剖面及其解释剖面 (Hinz and Schluter, 1985)(位置见图 1)

Fig. 6 Seismic and its interpreted profiles for dredge at S023-31

该井在中生世碳酸盐岩和砂层发现油气显示, 对礼乐盆地浅层勘探具有一定的指示意义。

根据 Kudrass *et al.* (1986) 的报道, 在仁爱礁北侧, S027-24 取样发现深海相的硅质页岩, 其岩性可以和北巴拉望地区的放射虫硅质岩对比, 都属于中三叠纪沉积。同时在地垒的西北坡 S023-31 点 (图 6), 采获中生代地层露头, 成分为富含羊齿植物化石的粉砂岩、砂岩及暗灰色粘土岩, 其沉积属于三角洲相—开阔浅海相, 同时还有其他植物化石, 可以确定这些砂泥岩时代属于晚三叠纪—早侏罗纪, 岩石轻微变质, 所含有机质的  $R_o$  为 1.0%~2.5%, 个别岩样中含有焦炭, 表明受过岩浆侵入引起的局部接触变质作用。

钻井、拖网及地震资料综合分析, 认为礼乐盆地与西巴拉望、北巴拉望盆地可能同属一个较大型的中生代盆地, 海水从 NE-SW 变深, 到南沙海槽为深海沉积 (夏戡原和黄慈流, 2000), 其中生代地层具有较好的生烃潜力, 是礼乐盆地的主力烃源岩。

新生代初期, 古新世—始新世主要接受滨—浅海相泥砂混合沉积, 由于远离华南大陆, 物源供应降低, 同时较早遭受海侵, 有机质丰度及生油能力均降低, 所以该沉积层具有一定的生油潜力, 但不是主力。

### 3.2 储盖组合

礼乐盆地东侧已发现多个油气田, 利用其钻井资料并结合盆地内部地震资料, 认为研究区主要有 3 套存储体 (图 4), 分别是晚渐新世—早中新世的碳酸盐岩 (礁/浊积碳酸盐岩)、早中新世浊积砂体和晚中生代风化层, 其中礁体和风化壳是主要存储体。

晚渐新世以来, 在盆地隆起区大套碳酸盐岩和

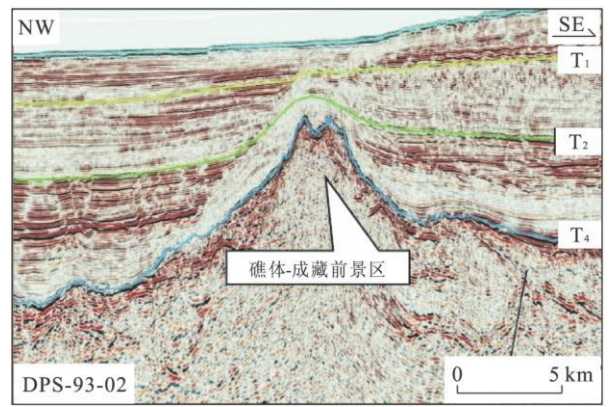


图 7 礁体剖面 (位置见图 2)

Fig. 7 Seismic profile across the reef

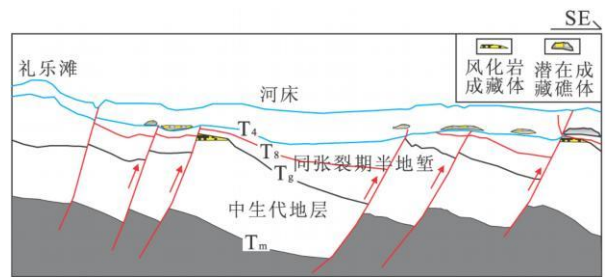


图 8 礼乐盆地主要圈闭类型和成藏模式 (位置见图 2)

Fig. 8 Major trap types and accumulation mode in Lile basin

生物礁体是主要储层, 在地震剖面中表现为局部隆起, 外缘连续强反射, 内部杂乱 (图 7), 孔隙度最大可达 34% (Sales *et al.*, 1997)。T<sub>4</sub> 层面之上的早—中中新世厚层泥岩在礼乐盆地广泛分布, 在地震剖面中表现为是区域盖层礁体外部地震相为低振幅、低频弱反射, 是厚层泥岩的震相表现, 从而形成较好的储盖组合。

早—中中新世砂体是礼乐盆地主要的存储体, 在地震剖面中表现为前积构造, 为浊积砂体的表现, 该浊积砂在巴拉望盆地油气田中已发现油气, 如 Aboabo-1 井在中中新世地层中钻遇两套砂体 (图 5), 日产气 1 300 m<sup>3</sup>。

中生代晚期—古新世张裂作用使中生代地层翘倾旋转, 断块顶部出露地表, 风化剥蚀, 形成大量高孔隙度风化砾岩, 与顶部新生代早期泥岩沉积构成储盖组合。

### 3.3 圈闭类型

通过对地震资料的解释分析以及周边钻井的勘探结果, 认为礼乐盆地主要有 3 种圈闭类型 (图 8): (1) 晚渐新世—早中新世礁体, 地震剖面中有多个尖顶鼓包, 外缘强振幅、内部弱振幅反射杂乱 (图 7), 是南海张开初期形成的高孔隙度礁体的地震反映,

其上地层超覆,且表现为弱振幅平行反射,是较好的泥岩盖层;(2)晚中生代地层风化断块,新生代早期的张裂作用使中生代地层翘倾旋转,隆起部位出露地表,风化剥蚀碎砾岩为较好储层,可形成断块圈闭;(3)早中新世浊积砂岩与上覆泥岩形成岩性圈闭。

### 3.4 成藏模式分析及有利成藏区

油气运聚模式及成藏类型是油气勘探研究的最终目标,油气的运聚模式不仅与生、储、盖的空间分别密切相关,而且亦受控于盆地的构造形态、构造活动期次、断裂空间展布等诸多因素。断裂是油气垂向运移的主要通道(郭占谦等,1996),礼乐盆地断裂早期较为活跃,中新世之后活动减弱,晚中新世受菲律宾板块碰撞的影响再次活化,并且沟通了烃源岩和浅部储层,从而使深大断裂成为油气运聚成藏有利区域。

礼乐盆地主要以低凸式油气聚集模式为主,断裂发育早期,使中生代地层翘倾旋转,并在上盘风化剥蚀形成储层,下盘为半地堑沉积,充填湖相烃源岩;其后南海张开,礼乐盆地张裂活动减弱,差异沉降使断裂上盘处于相对高点,成为礁体发育的有利部位。礁体及断块顶部呈相对低凸起状态,多发育于沉积盆地内部,从而形成“群湖抱山”的基本构造格局。该类构造可能具有双层构造,下为前第三纪风化层,上为晚渐新世—中新世礁体(图8)。圈闭类型以断块构造圈闭为主,翼部还发育有不同种类的地层圈闭。主控边界断裂长期活动,成为油气运移的良好通道,是礼乐盆地较为有利的油气聚集带,尤其要重视中、深层油气藏。

## 4 讨论

目前,以礼乐盆地为目标油气勘探钻井均位于礼乐滩,基本都是干井,只有 Sampaguia-1 在底部有一定的油气显示。本文通过对钻井及地震资料的分析认为,礼乐滩并不是有利成藏区域:首先,烃源岩不在礼乐滩,而是周边凹陷和盆地;其次,礼乐滩一直处于构造高部位,相对沉降幅度较小,礁体持续生长 2 000 多米,砂体不发育,储层减少,对油气的横向顺层运移不利,礼乐滩断裂相对不发育,垂向沟通能力差。油气自周边凹陷向礼乐滩的运移有一定难度,不利于油气在礼乐滩聚集成藏,礼乐滩的 A-1 和 B-1 虽然具有较好的圈闭,但仍以失败告终,由此可见没有烃源供应。在礼乐滩勘探成本相对较

小,但其并不是优势成藏区域,在今后油气勘探中,应在盆地中、东部先找深大断裂,以便发现大型油气田。

## 5 结论

(1)中生代地层将是礼乐盆地主力烃源岩。目前世界上主要油气产量来自中生代地层,礼乐盆地构造层已证实为中生代地层,厚度 3 000~5 000 m,南海南部中生代沉积盆地与新生代沉积盆地为陆缘断陷型不同,中生代沉积盆地属陆缘拗陷型,单个背斜构造的面积较大,而且中生代沉积时属于特提斯洋沉积环境,有机物丰富,所以说中生代地层是礼乐盆地的主力烃源岩。

(2)主要发育 3 套存储体,其中礁体和风化壳是主要存储体,因而岩性圈闭和断块构造圈闭是主要成藏圈闭类型。

(3)深大断裂发育的中、东部隆起带是礼乐盆地成藏优势带。深大断裂沟通底部源岩和浅层储层,且长期发育,是较好的油气运移通道;同时控制圈闭的发育与分布,在垂向上可形成双构造层成藏模式。

致谢:水深数据来源于 GMT 软件;Otto 石油公司提供 DPS-92-02 地震剖面。

## References

- Briaix A., Patriat P., Tapponnier P., 1993. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea; implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia. *Journal of Geophysical Research*, 98(B4): 6299–6328.
- Fontaine H., Davis P., Parded R., et al., 1983. Marine Jurassic in Southeast Asia. *CCOP Technical Bulletin*, 16: 3–30.
- Guo, Z. Q., Xiao D. M., Tang, J. S., 1996. Function of discordogenic faults during forming of hydrocarbon pools. *Acta Petroli Sinica*, 17(3): 27–32 (in Chinese with English abstract).
- Hall, R., 2002. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific; computer-based reconstructions model and animations. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20(4): 353–431. doi: 10.1016/S1367-9120(01)00069-4
- Hinz K., Schluter, H. U., 1985. Geology of the dangerous grounds, South China Sea, and the continental margin off southwest Palawan; results of SONNE Cruises SO-23 and SO-27. *Energy*, 10(3–4): 297–315.

- Holloway, N. H., 1982. North Palawan block Philippines—its relation to Asian mainland and role in evolution of South China Sea. *AAPG Bulletin*, 66(9): 1355—1383.
- Hutchison, C. S., 2004. Marginal basin evolution; the southern South China Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 21(9): 1129—1148. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2004.07.002
- Jin, Q. H., Li, T. G., 2000. Regional geologic tectonics of the Nansha sea area. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 20(1): 1—8 (in Chinese with English abstract).
- Klemme, H. D., Ulmishek, G. F., 1991. Effective petroleum source rocks of the world; stratigraphic distribution and controlling depositional factors. *AAPG Bulletin*, 75(12): 1809—1851. doi: 10.1306/0C9B2A47-1710-11D7-8645000102C1865D
- Kudrass, H. R., Wiedicke, M., Cepeck, P., et al., 1986. Mesozoic and Cenozoic rocks dredged from the South China Sea (Reed Bank area) and Sulu sea and their significance for plate tectonic reconstructions. *Marine and Petroleum Geology*, 3(1): 19—30. doi: 10.1016/0264-8172(86)90053-X
- Sales, A. O., Jacobsen, E. C., Morado, A. A., et al., 1997. The petroleum potential of deep-water Northwest Palawan block GSEC 66. *Journal of Asian Earth Science*, 15(2—3): 217—240. doi: 10.1016/S0743-9547(97)00009-3
- Schlueter, H. U., Hinz, K., Block, M., 1996. Tectono-stratigraphic terranes and detachment faulting of the South China Sea and Sulu sea. *Marine Geology*, 130(1—2): 39—78. doi: 10.1016/0025-3227(95)00137-9
- Shao, L., You, H. Q., Hao, H. J., et al., 2007. Petrology and depositional environments of Mesozoic strata in the northeastern South China Sea. *Geological Review*, 53(2): 164—169 (in Chinese with English abstract).
- Sun, L. T., Sun, Z., Zhou, D., et al., 2008. Stratigraphy and structure of Lile basin in Nansha area. *Geotectonica et Metallogenia*, 32(2): 151—158 (in Chinese with English abstract).
- Sun, Z., Zhou, D., Zhong, Z. H., et al., 2006. Research on the dynamics of the South China Sea opening: evidence from analogue modeling. *Science in China (Ser. D)*, 49(10): 1053—1069. doi: 10.1007/s11430-006-1053-6
- Sun, Z., Sun, L. T., Zhou, D., et al., 2009. Discussion on the South China Sea evolution and lithospheric breakup through 3D analogue modeling. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 34(3): 435—447 (in Chinese with English abstract).
- Taylor, B., Hayes, D. E., 1980. The tectonic evolution of the South China Sea basin. In: Hayes D. E., ed., The tectonic and geologic evolution of southeast Asian seas and islands. *Geophys Monogr Set*, 23, AGU, Washington D. C. .
- Taylor, B., Hayes, D. E., 1983. Origin and history of the South China Sea Basin. In: Hayes, D. E., ed., The tectonic and geologic evolution of Southeast Asian seas and islands Part 2. *Geophys Monogr Set*, 27, AGU, Washington D. C. .
- Xia, K. Y., Huang, C. L., 2000. The discovery of Mesozoic Tethys sedimentary basins in the South China Sea and their oil and gas perspective. *Earth Science Frontiers*, 7(3): 227—238 (in Chinese with English abstract).
- Yan, P., Liu, H. L., 2004. Tectonic-stratigraphic division and blind fold structures in Nansha waters, South China Sea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24(3): 337—348. doi: 10.1016/S0040-1951(01)00062-2
- Yan, P., Liu, H. L., Deng, H., 2005. Characteristics of the Paleogene deposits in Nansha waters and their relations to the petroleum potential. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(3): 391—402 (in Chinese with English abstract).
- Yao, B. C., Wan, L., Liu, Z. H., 2004. Tectonic dynamics of Cenozoic sedimentary basins and hydrocarbon resources in the South China Sea. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(5): 543—549 (in Chinese with English abstract).
- Yao, Y. J., Jiang, Y. K., Zeng, X. H., 2002. Cenozoic tectonic movements in Nansha area, South China Sea. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 16(2): 113—118 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L., Li, W. C., Zeng, X. H., 2003. Stratigraphic sequence and hydrocarbon potential in Lile basin. *Petroleum Geology and Experiment*, 25(5): 469—573 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, D., Ru, K., Chen, H. Z., 1995. Kinematics of Cenozoic extension on the South China Sea continental margin and its implications for the tectonic evolution of the region. *Tectonophysics*, 251(1—4): 161—177. doi: 10.1016/0040-1951(95)00018-6
- Zhou, D., 2002. Mesozoic strata and sedimentary environment in SW Taiwan basin of NE South China Sea and Peikang high of western Taiwan. *Journal of Tropical Oceanography*, 21(2): 50—57 (in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

- 郭占谦, 萧德铭, 唐金生, 1996. 深大断裂在油气藏形成中的作用. *石油学报*, 17(3): 27—32.



- 金庆焕,李唐根,2000.南沙海域区域地质构造.海洋地质与第四纪地质,20(1):1—8.
- 邵磊,尤洪庆,郝沪军,等,2007.南海东北部中生界岩石学特征及沉积环境.地质论评,53(2):164—169.
- 孙龙涛,孙珍,周蒂,等,2008.南沙海区礼乐盆地沉积地层与构造特征分析.大地构造与成矿学,32(2):151—158.
- 孙珍,孙龙涛,周蒂,等,2009.南海岩石圈破裂方式与扩张过程的三维物理模拟.地球科学——中国地质大学学报,34(3):435—447.
- 夏戡原,黄慈流,2000.南海中生代特提斯期沉积盆地的发现与找寻中生代含油气盆地的前景.地学前缘,7(3):227—238.
- 阎贫,刘海龄,邓辉,2005.南沙地区下第三系沉积特征及其与含油气性的关系.大地构造与成矿学,29(3):391—402.
- 姚伯初,万玲,刘振湖,2004.南海海域新生代沉积盆地构造演化的动力学特征及其油气资源.地球科学——中国地质大学学报,29(5):543—549.
- 姚永坚,姜玉坤,曾祥辉,2002.南沙海域新生代构造运动特征.中国海上油气(地质),16(2):113—118.
- 张莉,李文成,曾祥辉,2003.礼乐盆地地层发育特征及其与油气的关系.石油实验地质,25(5):469—573.
- 周蒂,2002.台西南盆地和北港隆起的中生界及其沉积环境.热带海洋学报,21(2):50—57.