



海洋地质与第四纪地质

MARINE GEOLOGY & QUATERNARY GEOLOGY

南海南部南安盆地新生代以来构造-沉积演化特征及区域成藏模式

骆帅兵, 张 莉, 王笑雪, 余秋华, 雷振宇, 帅庆伟

The tectono-sedimentary evolution characteristics and regional reservoir-forming model of Nan'an Basin in the Cenozoic

LUO Shuaibing, ZHANG Li, WANG Xiaoxue, YU Qiuhua, LEI Zhenyu, and SHUAI Qingwei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2022082901>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

东海陆架盆地南部中生代构造-沉积演化与油气勘探方向

Tectono-sedimentary evolution of the Mesozoic in the southern East China Sea Shelf Basin and its bearing on petroleum exploration

海洋地质与第四纪地质. 2019, 39(6): 30

琼东南盆地新生代东西分块差异构造演化及控藏意义

Differential control of structures over reservoirs and its significance in Qiongdongnan Basin

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(4): 157

西沙海槽盆地新生代沉积环境演化

The Cenozoic evolution of sedimentary environment of Xisha Trough Basin

海洋地质与第四纪地质. 2019, 39(1): 15

南海西南次海盆两侧陆缘新生代构造沉降特征及演化过程

Cenozoic tectonic subsidence of the continental margins of southwest sub-basin, South China Sea and its evolution

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(6): 82

洞庭湖赤山凸起第四纪构造沉积演变特性

Quaternary tectono-sedimentary evolution of Chishan Uplift in the Dongting Lake

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(5): 160

南海南部北康盆地中新世深水沉积体类型、特征及意义

MIDDLE MIOCENE DEEP-WATER SEDIMENTS IN THE BEIKANG BASIN, SOUTHERN SOUTH CHINA SEA: TYPES, CHARACTERISTICS AND IMPLICATIONS

海洋地质与第四纪地质. 2017, 37(6): 110



关注微信公众号，获得更多资讯信息

骆帅兵, 张莉, 王笑雪, 等. 南海南部南安盆地新生代以来构造-沉积演化特征及区域成藏模式 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2023, 43(4): 116-128.
LUO Shuaibing, ZHANG Li, WANG Xiaoxue, et al. The tectono-sedimentary evolution characteristics and regional reservoir-forming model of Nan'an Basin in the Cenozoic[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2023, 43(4): 116-128.

南海南部南安盆地新生代以来构造-沉积演化特征及区域成藏模式

骆帅兵, 张莉, 王笑雪, 余秋华, 雷振宇, 帅庆伟

自然资源部海底矿产资源重点实验室, 广州海洋地质调查局, 广州 510075

摘要: 南安盆地是南海南部重要的大型含油气盆地之一, 深入分析其构造-沉积演化特征对盆地油气勘探具有重要的指导作用。结合已有研究成果, 开展盆地二维地震资料解释, 识别出南安盆地新生代以来 5 个主要的二级层序界面和 4 套地震层序。在层序地层格架下, 根据地震反射特征识别出南安盆地楔形、S型(丘状)等 5 类地震相类型; 砂包泥岩、砂泥岩互层等 7 类地震岩相类型以及扇三角洲、河流三角洲等 8 类主要沉积相。综合盆地构造演化特征, 南安盆地新生代以来主要分为 4 个阶段: 初始裂陷阶段、主裂陷阶段、断拗转换阶段和拗陷热沉降阶段。其中, 中中新世以前为盆地裂陷阶段, 发育陆源碎屑沉积, 早期为湖相沉积, 晚期为滨浅海相沉积; 中中新世以后为拗陷阶段, 发育陆源碎屑沉积和碳酸盐岩沉积。通过油气成藏模式研究, 南安盆地烃源岩发育且品质较好, 有利储集相带纵向厚度大且横向范围广, 区域盖层覆盖整个盆地, 并形成了早期的自生自储和晚期的下生上储两类油气成藏系统。

关键词: 层序地层; 地震相; 构造-沉积演化特征; 成藏模式; 南安盆地

中图分类号: P736.1

文献标识码: A

DOI: [10.16562/j.cnki.0256-1492.2022082901](https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2022082901)

The tectono-sedimentary evolution characteristics and regional reservoir-forming model of Nan'an Basin in the Cenozoic

LUO Shuaibing, ZHANG Li, WANG Xiaoxue, YU Qiuuhua, LEI Zhenyu, SHUAI Qingwei

MENR Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China

Abstract: Nan'an Basin is one of the important large oil-gas basins in the southern South China Sea, and the in-depth analysis of its tectono-sedimentary evolution characteristics is of great significance for oil and gas exploration. Based on the existing research results, the 2D seismic data of the basin was interpreted, and five main second-order sequence interfaces and four sets of seismic sequences were identified in the basin in the Cenozoic. Based on the sequence stratigraphic framework, five types of seismic facies such as wedge-shaped and S-shaped (mound), seven seismic lithofacies types (such as sand-coated mudstone and interbedded sand-mudstone), and eight major sedimentary facies (such as fan delta and river delta) were identified. The tectonic evolution of the Cenozoic south basin was divided into four stages: initial rift stage, main rift stage, fault-depression transformation stage, and depression thermal subsidence stage. Before the Mid-Miocene was the main rift stage, during which terrigenous clastic deposits formed from early lacustrine deposition to later offshore deposition. After the Middle Miocene was the depression stage, during which terrigenous clastic deposits and carbonate deposits developed. The study of hydrocarbon accumulation model showed that, the source rocks in Nan'an Basin are well developed and of good quality, which favored the reservoir facies belt enlargement in a large longitudinal thickness and a wide lateral range. The regional cap rocks covered the whole basin, and two types of hydrocarbon accumulation systems were formed: self-generation and self-storage in the early stage, and lower-generation and upper-reservoir in the late stage.

Key words: sequence stratigraphy; seismic facies; tectono-sedimentary evolution; reservoir pattern; Nan'an Basin

南海被欧亚大陆、印度-澳大利亚板块以及太平洋板块等包围, 受多板块联合作用, 构造背景复杂, 沉积演化各异, 形成了诸多大型的含油气沉积盆地^[1-6]。南海南部新生代以来经历了多次大规模

的构造运动, 如礼乐运动、南沙运动等^[7-10], 这一系列构造事件一方面奠定了南海南部现今的基本构造格局, 另一方面造就了其丰富的油气资源前景。

前人通过研究^[8,11-13], 在南海南部划分出万安盆

资助项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20190213)

作者简介: 骆帅兵(1989—), 男, 工程师, 主要从事海域含油气盆地地震资料解释与石油地质综合研究, E-mail: 865285868@qq.com

收稿日期: 2022-08-29; 改回日期: 2022-09-20。周立君编辑

地、南薇西盆地和两盆地之间的广雅隆起三部分, 张莉等根据最新地震资料研究后发现: 广雅隆起区发育最大厚度达 7 km 的新生代沉积地层; 万安与南薇西盆地之间的区域空间重力背景场形态相似, 无明显的分区界线; 万安与南薇西盆地的二级构造单元线和主控断裂在平面上具有延续性, 主体呈北东向展布; 万安与南薇西盆地间厚度具有连续性, 未出现厚度突变现象; 万安与南薇西盆地的构造样式具有相似性。因此认为万安盆地、南薇西盆地和广雅隆起区同属一个大型沉积盆地, 并命名为南安盆地。盆地已有油气勘探开发表明, 该盆地具有极好的油气资源潜力^[4-5,12-13]。

根据南安盆地二维地震剖面, 结合国内外最新的研究成果, 重新梳理南安盆地的层序地层格架, 通过对盆地典型地震相-地震岩相-沉积相特征进行分析, 结合南海区域构造背景, 开展南安盆地重要时期构造演化控制下的沉积充填特征研究, 并提出南安盆地区域成藏模式。希望对于认识南安盆地构造-沉积演化过程和盆地的油气勘探具有一定的指导意义。

1 地质背景

南安盆地位于南海西南部, 包括陆架、陆坡和深水区, 总体走向为北东—南西向, 北靠中建南盆地, 南接北康盆地和曾母盆地, 东与西南次海盆和南薇东盆地相连, 水深 200~3 000 m, 盆地面积约 $16 \times 10^4 \text{ km}^2$, 为一新生代陆缘裂陷沉积盆地。盆地的构造及沉积演化特征与北康盆地、曾母盆地具有一定的相似性, 主要经历了初始裂陷阶段、主裂陷阶段、断拗转换阶段和拗陷热沉降阶段^[5-7,14-16], 广泛接受晚始新世以来的沉积物源, 早期以河流、湖泊相沉积为主, 渐新世开始演变为海相沉积, 新生代最大沉积厚度超过 10 km, 可划分为北部坳陷、北部隆起、中部坳陷、中部隆起、南部坳陷、南部隆起和东南坳陷、西北断阶带、西部坳陷和西南斜坡 10 个二级构造单元(图 1)。

2 层序地层学特征

南安盆地是整体发育在晚白垩世基底之上的

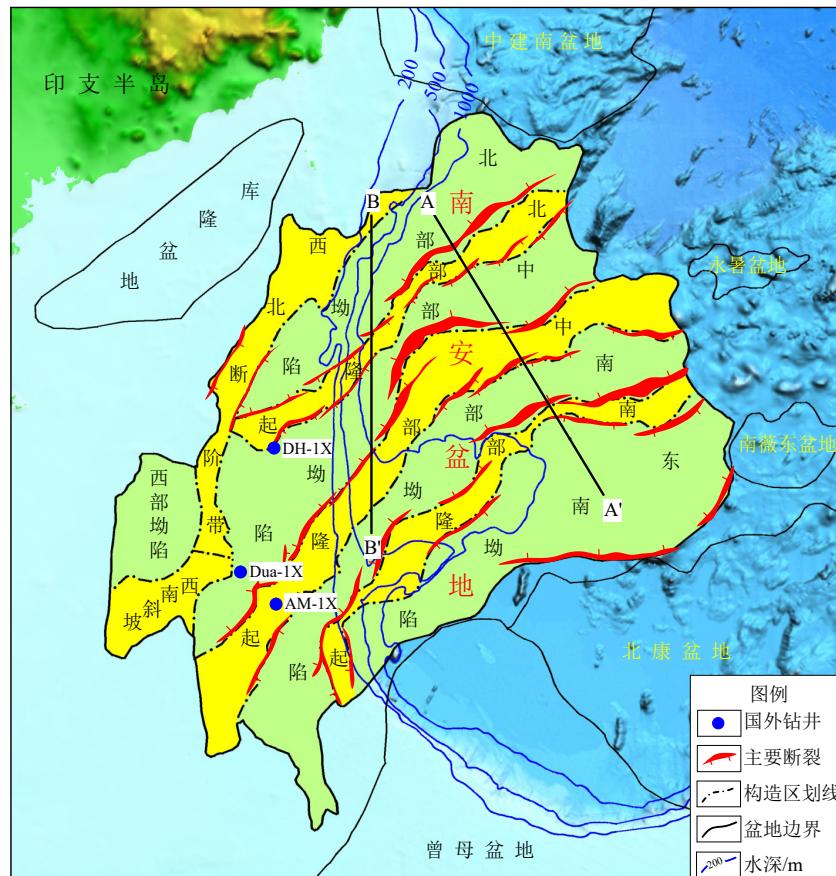


图 1 南安盆地区域位置图

Fig.1 The regional tectonic framework of Nan'an Basin

裂谷盆地。新生代地层发育齐全,根据地震资料与 DH-1X、Dua-1X 和 AM-1X 钻井资料^[17-20](图 2),厘定主要不整合界面时代,南安盆地形成演化主要经历了礼乐、西卫、南海、南沙和广雅 5 次构造运动的影响^[1,5-6,21-25],自下而上发育了 T_g、T₅、T₄、T₃、T₂ 五个区域性的不整合反射界面,可划分 SQ1、SQ2、SQ3 和 SQ4 四套地震层序(图 3、图 4)。

2.1 主要地震反射界面特征

T₂ 反射界面为上新世和中新世的分界,在全区大部分地区为整合的界面。T₂ 界面为低频、强振幅、连续的反射界面,全区可很好追踪与对比,其在大陆架具有较高的振幅和较好的连续性。该界面对应于广雅运动。

T₃ 反射界面为中中新统和早中新统的分界,在全区特征最明显,是一个区域性的大型角度不整合面,与下伏地层呈削截、角度不整合接触。T₃ 界面表现为中频、连续、中-强振幅地震反射特征,可能与婆罗洲造山运动有关^[26-28]。该界面对应于南沙运动,其上为拗陷热沉降期沉积。

T₄ 反射界面为中新统和渐新统的分界,该界面特征没有 T₃ 界面明显,但也是一个覆盖全区的大型不整合面,与下伏地层呈假整合接触,多表现为中-低频、强振幅、较连续的强反射特征。在北康、曾母盆地,该界面一般认为是新南海的扩张响应,但在南安盆地,认为是西南次海盆扩张响应^[21-25]。该界面对应于南海运动,其上为断拗转换期沉积。

T₅ 反射界面为晚始新统和中始新统的分界,该界面与 T₄ 界面特征相似,但总体表现为中-低频、不连续反射特征,振幅多变。在半地堑盆地的斜坡处,与 T_g 界面混合。该界面对应于西卫运动,其上为主裂陷期沉积。

T_g 反射界面为古新统和白垩系分界,该界面为南安盆地新生界基底,反映了中南半岛从挤压隆升到裂陷的转换过程,为盆地初始破裂不整合面,总体表现为中-低频、强振幅、不连续反射。当埋藏较深时,反射模糊、间断,难以追踪。该界面对应于礼乐运动,其上为初始裂陷期沉积。

2.2 层序发育特征

SQ1 层序为发育在 T₅ 和 T_g 界面间的人骏组^[17,22-25]沉积,该层序具有中高振幅、中等频率和不连续反射。其外部形态为楔形或半地堑状填充物。钻井未钻到该层序,推断其沉积环境为陆相冲积扇河流-湖泊,含砂砾岩,化石较少。

SQ2 层序为发育在 T₄ 和 T₅ 界面间的西卫组^[17,22-25]沉积,该层序具有中高振幅、中等频率和连续或不连续反射。Dua-1X 和 AM-1X 井遇到 SQ2 层序^[17-20],其下沉积环境为冲积扇河流-湖泊,其上为滨海平原-陆棚,含煤层、生物碎屑、超微化石和有孔虫。该层序为南安盆地主力烃源岩发育层。

SQ3 层序为发育在 T₃ 和 T₄ 界面间的万安组和李准组^[17,22-25]沉积,其中,万安组具有中等振幅、中等连续性、平行或发散结构、楔形外反射等特征;李准组具有中等振幅、中等频率、连续反射的地震特征。DH-1X、Dua-1X 和 AM-1X 井钻遇到 SQ3 层序^[17-20],万安组沉积环境为河流湖泊、陆棚-开阔浅海;李准组为近海-陆棚-深海。该层序含煤层、灰岩层、钙质层、超微化石和有孔虫,为南安盆地主力砂岩储层发育层,并发育碳酸盐岩储层。

SQ4 层序为发育在 T₂ 和 T₃ 界面间的昆仑组^[17,22-25]沉积,该层序具有中等振幅和连续反射。DH-1X、Dua-1X 和 AM-1X 井钻遇到 SQ4 层序^[17-20],其沉积环境为碳酸盐岩台地、陆棚-深海,含超微化石和有孔虫。该层序为南安盆地主力碳酸盐岩储层发育层和区域性盖层发育层^[26-29]。

3 地震相-地震岩相-沉积相特征

通过开展地震资料精细解释,根据地震反射特征识别出南安盆地 5 类地震相类型,即楔形、S 型(丘状)、席状、滩状(杂乱状)和充填状^[30-32];7 类地震岩相类型,包括砂包泥岩、砂泥岩互层、砂砾岩、泥岩、火山岩等^[33-34];8 类主要沉积相,包括扇三角洲、河流三角洲、冲积平原、滨浅海等^[35-36](表 1)。

3.1 楔形地震相

在地震反射上表现出中-低频、中-弱振幅、较差连续性特征,内部结构为杂乱前积型,发育于斜坡区或大型断层下盘。中-低频表明沉积速率较快、沉积厚度大;弱振幅表明其内部波阻抗差异较小,局部因砂泥岩分界面较大的波阻抗差异而产生中振幅;连续性差表明存在短轴状砂岩,故推断其岩相主要为砂包泥岩相。沉积相解释为扇三角洲相。

3.2 丘状(S 型)地震相

在地震反射上表现出中频、中-强振幅、较好连续性的特征,内部结构沿走向为叠瓦状前积、斜交 S 型,垂直走向为丘状,发育于滨岸平原区。中频反

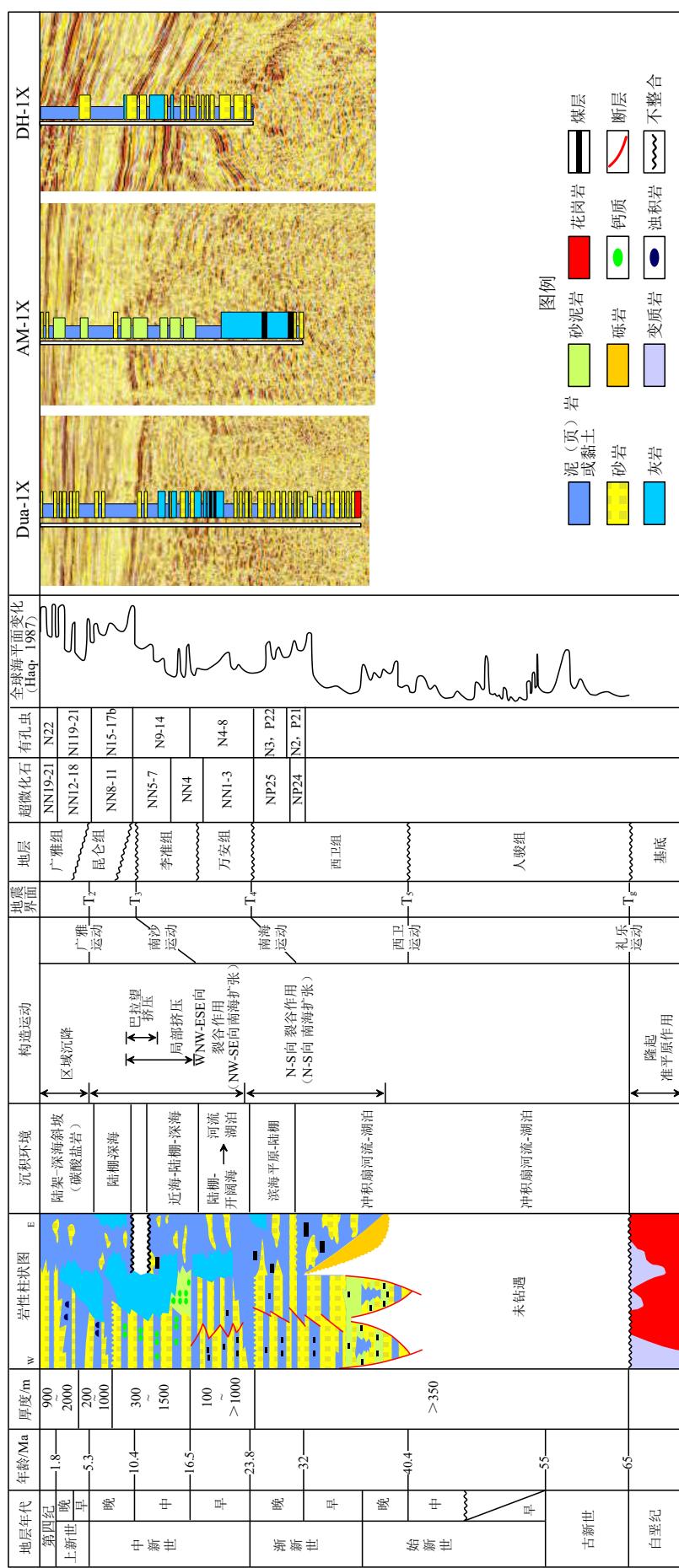


图 2 南安盆地综合柱状图
Fig.2 Comprehensive geological bar chart of Nan'an Basin

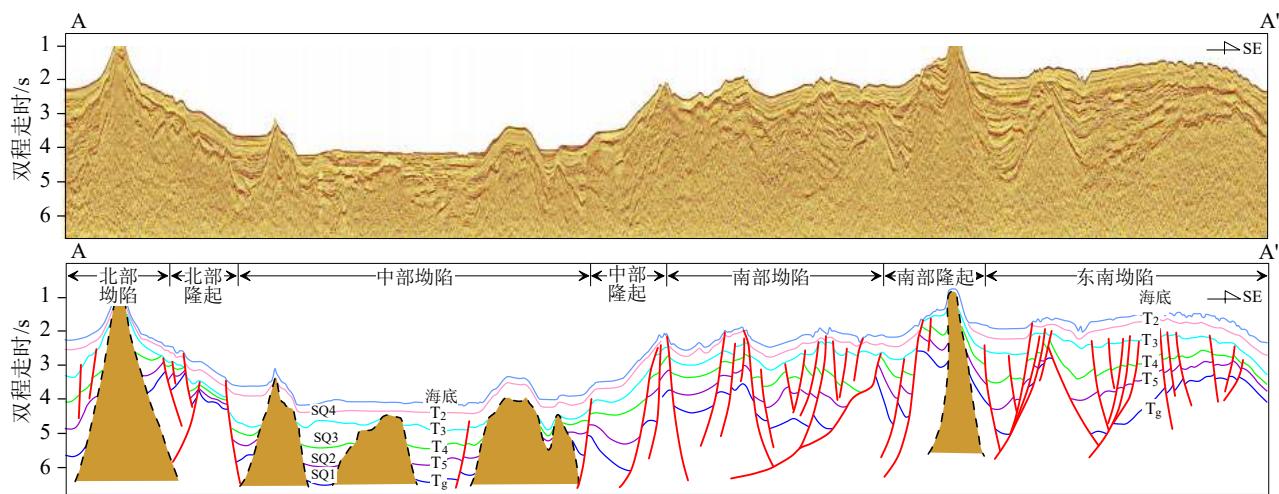


图 3 南安盆地 A-A' 剖面新生代区域地层结构与地震反射界面剖面图

Fig.3 A-A' profile of the Cenozoic regional stratigraphic structure and seismic reflection interface in Nan'an Basin

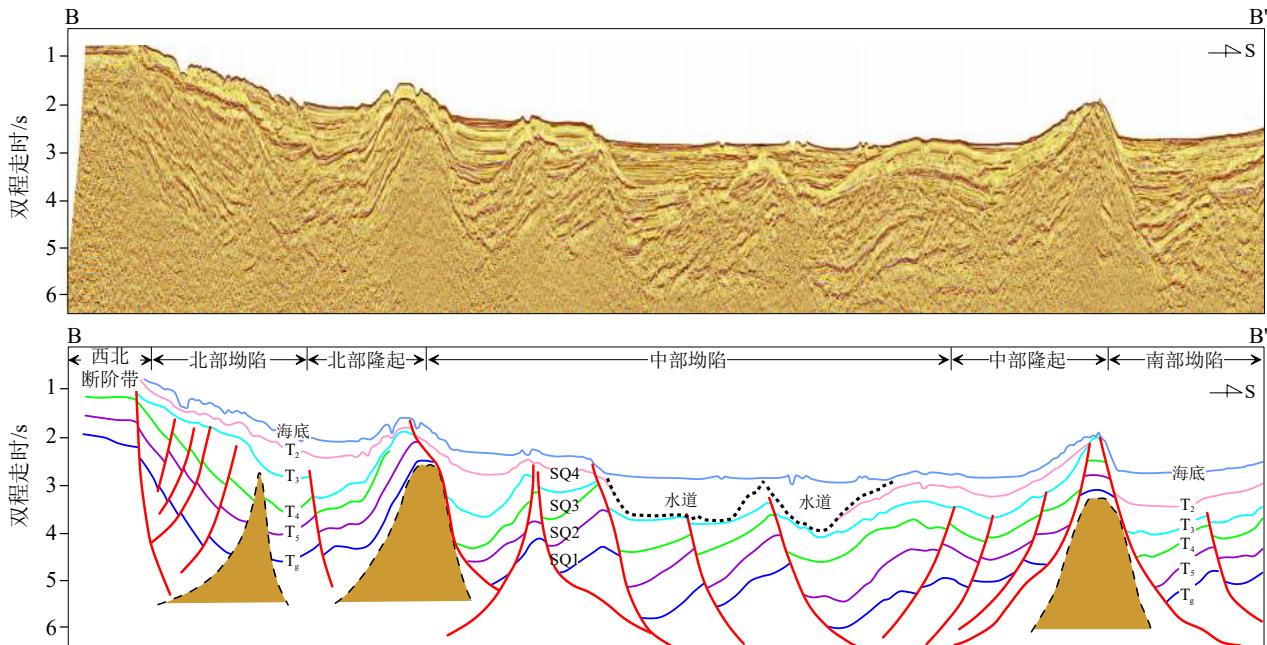


图 4 南安盆地 B-B' 剖面新生代区域地层结构与地震反射界面剖面图

Fig.4 B-B' profile of the Cenozoic regional stratigraphic structure and seismic reflection interface in Nan'an Basin

映其具有一定沉积速率, 沉积厚度中等; 中-强振幅表明存在波阻抗差异的砂泥岩分界面; 连续性好表明沉积环境稳定且沉积范围广阔, 故推断其岩相主要为砂泥岩互层相。沉积相解释为河流三角洲相。

3.3 席状地震相

该类型地震相在南安盆地主要有 3 种表现形式:

第一种在地震反射上表现出中-低频、中-强振幅、连续性差的特征, 内部结构为亚平行/乱岗状, 发育于陆上区。与楔形地震相类似, 推断其岩相主要为砂砾岩相。沉积相解释为冲积平原相。

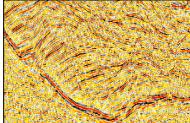
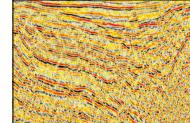
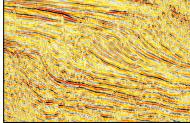
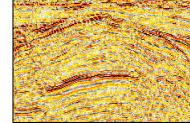
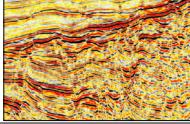
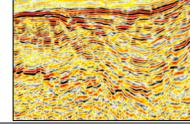
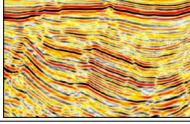
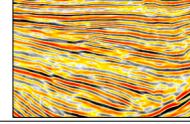
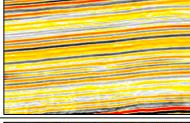
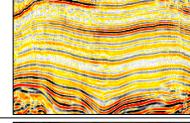
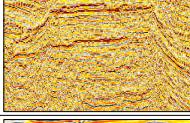
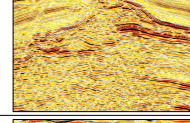
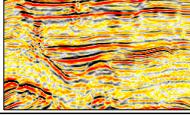
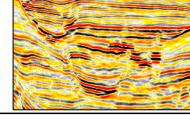
第二种在地震反射上表现出中频、中-强振幅、

连续性较好的特征, 内部结构为亚平行, 发育于中-外大陆架区。中频表明沉积速率比楔形地震相小; 中-强振幅表明存在波阻抗差异的砂泥岩分界面; 连续性好表明沉积环境稳定且沉积范围广阔, 故推断其岩相主要为砂泥岩互层相。沉积相解释为滨浅海相。

第三种在地震反射上表现出中-高频、弱振幅、连续反射的特征, 内部结构为平行-亚平行, 发育于外大陆架或深水盆地区。中-高频反映沉积速率低, 弱振幅表明其内部波阻抗差异较小, 连续反射表明沉积环境稳定且沉积范围广阔, 故推断其岩相主要为静水泥岩(页岩)相或粉砂质泥岩相。沉积相解释为深海-半深海相。

表 1 南安盆地主要地震相和地震岩相类型及特征

Table 1 Types and characteristics of main seismic facies and seismic lithofacies in Nan'an Basin

地震相类型	地震反射特征	发育位置	地震相	沉积相	地震剖面实例
楔形地震相	中-低频、中-弱振幅、较差连续性, 内部结构为杂乱前积型	斜坡区	砂包泥岩相	扇三角洲相	 
丘状(S型)地震相	中频、中-强振幅、较好连续性, 内部结构沿走向为叠瓦状前积、斜交S型, 垂直走向为丘状	滨岸平原区	砂泥岩互层相	河流三角洲相	 
席状地震相	中-低频、中-强振幅、连续性差, 内部为亚平行/乱岗状	陆上区	砂砾岩相	冲积平原相	 
	中频、中-强振幅、连续性较好, 内部为亚平行	中-外陆架区	砂泥岩互层相	滨浅海相	 
	中-高频、弱振幅、连续反射, 内部为平行-亚平行	外陆架或深水盆地区	静水泥岩(页岩)相或粉砂质泥岩相	深海-半深海相	 
滩状(杂乱状)地震相	中-低频、强-极强振幅、连续性好或较差, 内部为杂乱或近空白反射, 具有侧积或刺穿特征	外陆棚-斜坡区	灰岩相或火山岩相	台地礁滩相或火山岩相	 
充填状地震相	中-低频、弱振幅背景中的中-强振幅、连续性较差, 内部结构为上超/侧积充填	滨岸平原、内陆架和斜坡区	泥包(夹)砂岩相	下切河道	 

3.4 滩状(杂乱状)地震相

在地震反射上表现出中-低频、强-极强振幅、连续性好或较差的特征, 内部结构为杂乱或近空白反射, 具有侧积或刺穿特征, 发育于外陆棚-斜坡区。中-低频反映了较快的沉积速率; 强-极强振幅表明含钙质、灰质或火山碎屑物; 连续性好的推断为灰岩相, 连续性较差的推断为火山岩相。沉积相解释为台地礁滩相或火山岩相。

3.5 充填状地震相

在地震反射上表现出中-低频、弱振幅背景中的中-强振幅、连续性较差的特征, 内部结构为上超/侧积充填, 发育于滨岸平原、内陆架和斜坡区。中-低频反映了沉积速率较快、沉积厚度大; 弱振幅表明泥质含量高, 中-强振幅为存在波阻抗差异的砂泥岩分界面; 连续性差表明存在短轴状砂岩, 故推断其岩相主要为泥包(夹)砂岩相。沉积相解释为下切河道。

4 沉积演化特征

根据南海构造运动背景和盆地地质构造与不整合的发育特征, 结合前人对万安、曾母和北康盆地构造演化的研究成果, 南安盆地构造演化可分为4个阶段, 即初始裂陷、主裂陷、断拗转换和拗陷热沉降阶段^[5-7,14-16,26-28]。基于地震相识别及沉积相解释, 结合南安盆地构造演化特征, 编制了新生代以来不同时期的沉积相图, 明确了南安盆地不同时期沉积演化特征。

4.1 古新世—中始新世(T_g-T_5)

中生代末—古近纪早期, 由于太平洋板块以北西向俯冲至欧亚板块, 导致整体应力场由早期的北西-南东向挤压转为拉张^[2-3,7-9,15-16,37], 由此形成了一个个被北东向断裂分隔开的孤立地堑和半地堑, 这是南安盆地早期的雏形, 范围比较小, 基底起伏较大, 以发育张性正断层为主, 且控制着许多小型沉

积中心。

该时期南安盆地处于演化早期。盆地处于陆内裂谷的初始裂陷阶段, 裂陷强度及沉降速率较低, 坎陷分隔性强, 差异沉降显著, 盆内断裂对沉积具有重要的控制作用, 主沉积中心位于盆地中部和东部, 次沉积中心位于北部; 沉积物源主要以盆内局部物源及周缘物源为主, 以发育滨浅湖、半深湖-深湖以及近源粗粒扇三角洲沉积为特征(图 5)。

4.2 晚始新世—早渐新世 (T_5-T_4)

晚始新世, 受印度-澳大利亚板块与欧亚板块之间发生碰撞影响, 在南海地区产生了向东南方向流动的上地幔流, 导致南沙地块脱离中沙-西沙地块而向东南方向运动^[8-9,15-16,37-39]。南安盆地在西南海盆扩张作用下, 构造沉降速率加快, 沉积厚度增大, 早期的断陷得以进一步加深加大, 盆地进入发育鼎盛期。晚始新世, 盆地部分地区发生构造抬升而遭受剥蚀, 随后在拉张应力作用下, 盆地又迅速沉降, 北东、北北东向张性断层强烈活动, 盆地面积扩大, 开始发育断坳和海相沉积。

该时期南安盆地处于主裂陷阶段, 裂陷演化程度达到鼎盛, 断层活动强烈、断距大, 以整体断陷为特征, 盆地沉降提速, 前期局部坳陷得到进一步联通, 水体从盆地东部进入, 且面积扩大。由于整体断陷作用, 相比较裂陷初期, 盆内物源逐渐淹没, 盆地面积扩大, 捕获远源大型物源的能力得到增强。该时期以发育远源大型三角洲及扇三角洲、滨浅湖、半深湖-深湖为特征(图 6)。

4.3 晚渐新世—中中新世 (T_4-T_3)

中新世早期开始, 盆地逐渐减缓构造沉降速率, 随着南沙地块与婆罗洲地块在沙巴区域发生碰撞, 古南海消亡, 新南海西南次海盆张裂停止, 盆地定位于现今位置。中新世末期, 受南沙运动影响, 盆地再次整体抬升遭受剥蚀^[7-9,15-16,37-40]。

该时期南安盆地处于断拗转换阶段, 断层活动减弱。随着南海进一步扩张与海平面的上升, 呈现自东向西进一步海侵特征, 局部物源被淹没, 在盆地南部的局部构造隆起高地发育有大量的碳酸盐岩沉积, 东部地区部分隆起区剥蚀形成扇三角洲,

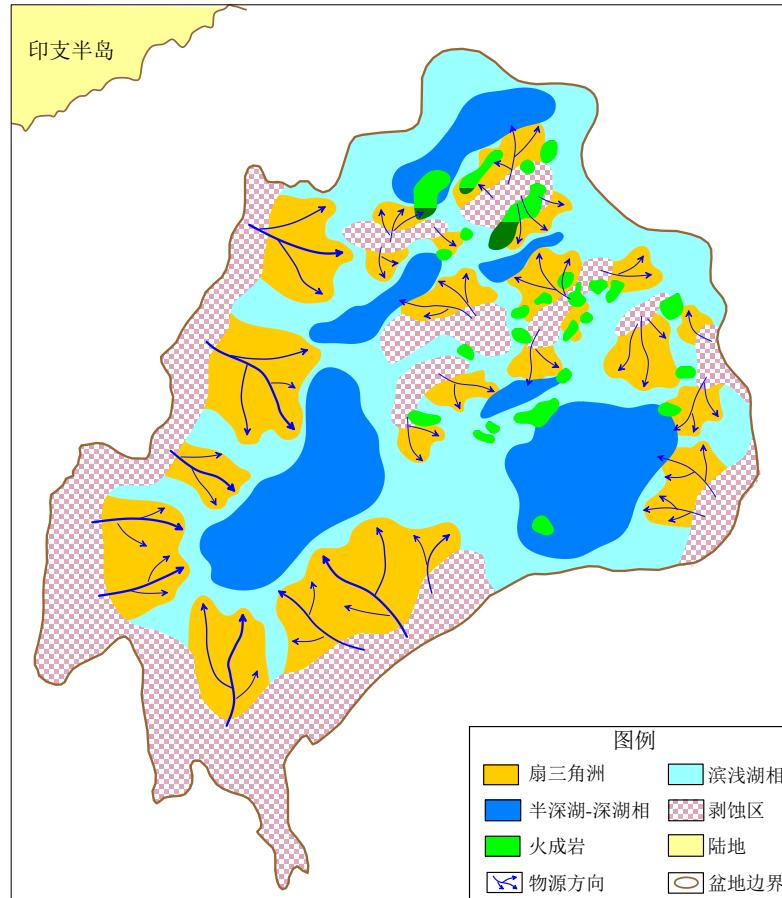
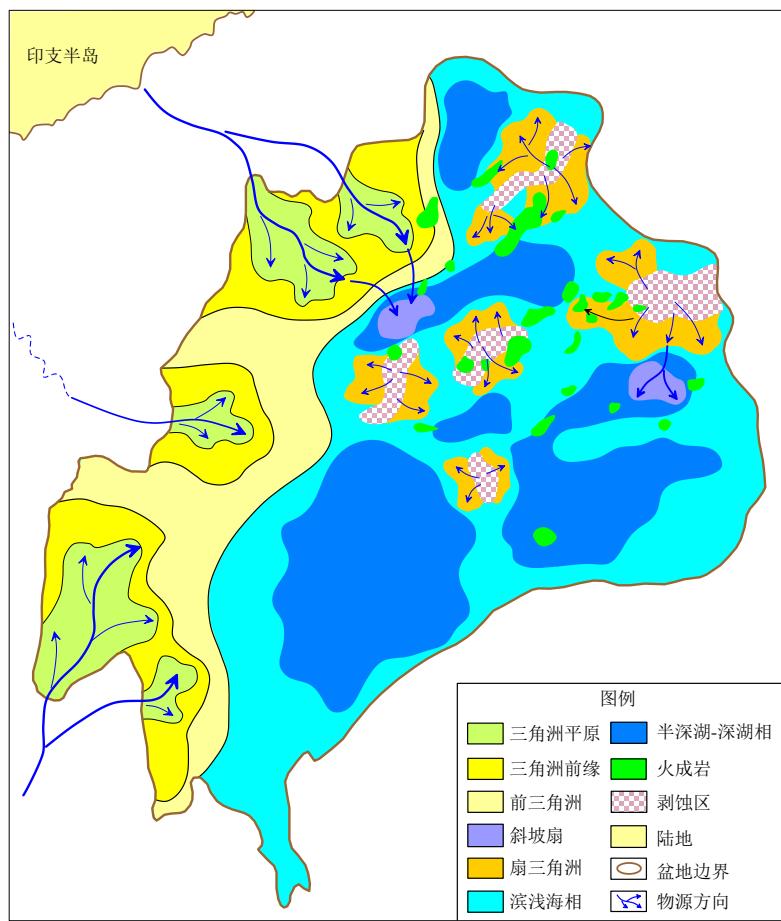


图 5 南安盆地古新世—中始新世 (T_g-T_5) 沉积相图

Fig.5 Sedimentary facies of the Paleocene to Middle Eocene (T_g-T_5) in Nan'an Basin

图 6 南安盆地晚始新世—早渐新世 (T_5-T_4) 沉积相图Fig.6 Sedimentary facies of the Late Eocene to Early Oligocene (T_5-T_4) in Nan'an Basin

盆地西部仍然以开阔海背景下的单向物源为主, 发育远源形大型三角洲、滨浅海, 同时在三角洲前缘可能发育由滑塌形成的浊积扇体(图 7)。

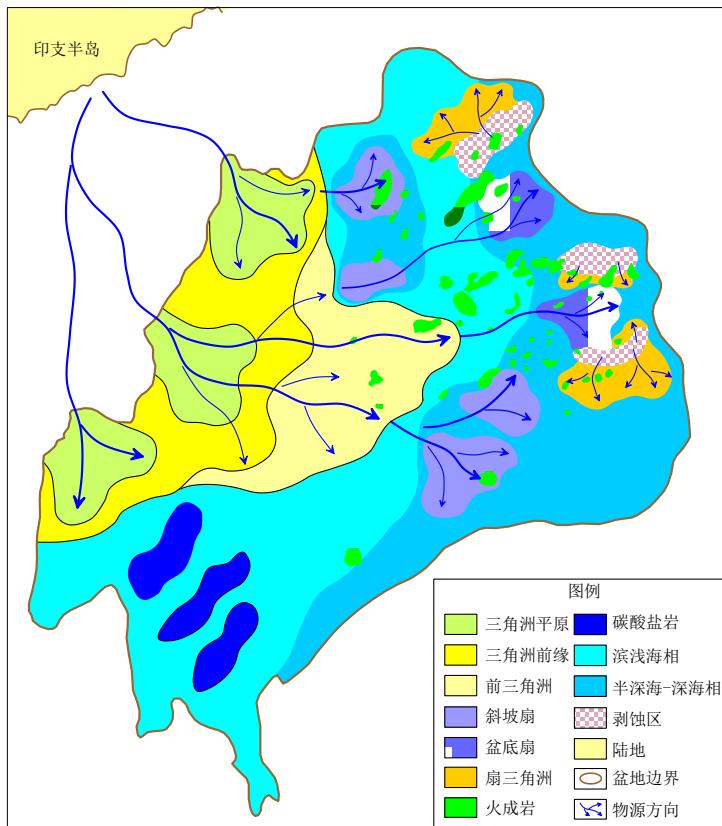
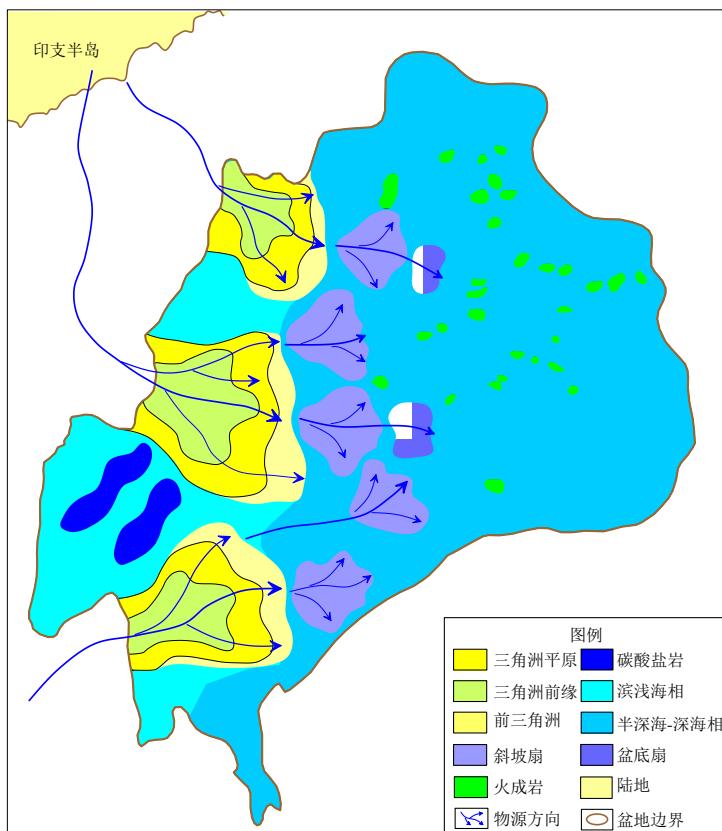
4.4 晚中新世至今 (T_3-T_0)

中中新世以后, 断层大多活动已停止, 在约 5.3 Ma 之前, 受菲律宾板块和欧亚板块在民都洛岛的碰撞以及澳大利亚板块和欧亚板块在苏拉威西岛碰撞的影响^[15-17,37-40], 盆地总体沉降进入一个低速率期, 各次级构造带沉降速率均降低; 在 5.3 Ma 之后, 受盆缘走滑断裂活化和裂后热沉降共同作用^[15-17,37-40], 盆地进入加速沉降阶段, 沉降速率由西向东加大, 尤其是位于盆地中东部的中部凹陷。

该时期南安盆地进入拗陷热沉降阶段, 随着相对海平面上升, 水深进一步加大, 陆架边缘三角洲尚未推进至盆地东部区域, 整体为半深海-深海陆坡、海底平原环境, 沉积类型以深水水道、海底扇等深水沉积体为主, 物源方向主要来自西部。同时盆地内部局部隆起仍然发育了广泛的碳酸盐岩台地(图 8)。

5 区域成藏模式

南安盆地古新世—中始新世(T_g-T_5)处于初始裂陷阶段, 从古新世开始湖盆规模逐渐扩大, 该时期烃源岩以半深湖-深湖沉积为主, 由于目前未有钻井钻遇, 参考珠江盆地始新世烃源岩有机质分布特征, 推测该区 TOC 含量范围为 0.5%~3.5%, 干酪根为 I-II 型, 是主要烃源岩形成期; 储层主要为近源粗粒扇三角洲或砂砾岩储层。晚始新世—早渐新世(T_5-T_4)随着裂陷作用进一步加强, 中深湖分布范围扩大, 湖盆面积达到最大, 推测该时期湖泊生产力高, 营养丰富, 依据南安盆地内已有钻井, 推测该时期烃源岩 TOC 分布范围为 0.5%~4.0%, 干酪根为 I-II 型, 发育主力湖相烃源岩; 储层主要为远源大型三角洲及扇三角洲。晚渐新世—中中新世(T_4-T_3)随着海侵作用不断加强, 发育有海陆过渡相泥岩及三角洲煤系, TOC 值为 1%~10%, 干酪根为 II 型; 下中新统半封闭海相泥岩及三角洲煤系、陆源海相泥岩 TOC 值一般为 1% 左右, 局部为 1%~10%, 干

图 7 南安盆地晚渐新世—中中新世 (T_4-T_3) 沉积相图Fig.7 Sedimentary facies of the Late Oligocene to Middle Miocene (T_4-T_3) in Nan'an Basin图 8 南安盆地晚中新世以来 (T_3-T_0) 沉积相图Fig.8 Sedimentary facies of Nan'an Basin since the Late Miocene (T_3-T_0)

酪根为Ⅱ-Ⅲ型, 为次要烃源岩; 中中新统浅海相泥岩, TOC 值大部分小于 1%, 干酪根为Ⅲ型, 属差烃源岩^[41-43]; 储层主要为河流三角洲或滨浅海相砂岩储层, 局部发育碳酸盐岩储层。

参考万安盆地烃源岩成熟史数值模拟^[44-46], 结合南安盆地的地质情况, 本次的热演化史分析表明, 中始新统推测的烃源岩在 23.8~10.4 Ma 陆续进入生排烃高峰期, 现今洼陷中心以生气为主, 洼陷周边以生油为主。上始新统一渐新统烃源岩在 10.4~0 Ma 陆续进入生排烃高峰期, 洼陷中心烃源岩以生油为主。油气沿着控源断裂向上运移, 侧向输导, 就近聚集在砂岩储层(三角洲相带的砂体)内成藏, 形成断块、断背斜、披覆背斜及构造岩性复合等圈闭。中始新世—渐新世油气藏为自生自储, 早期成藏; 中新世油气藏为下生上储, 晚期成藏。中中新世以后发育的海相泥岩为该区主要的区域盖层, 其他层系的上覆泥岩为局部盖层(图 9)。

6 结论

(1) 南安盆地新生代以来自下而上发育了 T_0 、 T_5 、 T_4 、 T_3 、 T_2 五个区域性的不整合反射界面, 可划分出 SQ1、SQ2、SQ3 和 SQ4 四套地震层序。

(2) 南安盆地主要发育 5 类地震相类型, 即楔形、S 型(丘状)、席状、滩状(杂乱状)和充填状; 7 类地震岩相类型, 包括砂包泥岩、砂泥岩互层、砂砾岩、泥岩、泥包砂岩和灰岩或火山岩; 8 类主要沉积相, 主要有扇三角洲、河流三角洲、冲积平原、滨浅海、深海-半深海、台地礁滩或火山岩以及下切河道。

(3) 南安盆地构造演化可分为初始裂陷、主裂陷、断拗转换和拗陷热沉降 4 个阶段。其中, 初始裂陷阶段以发育滨浅湖、半深湖-深湖以及近源粗粒扇三角洲沉积为特征; 主裂陷阶段以发育远源大

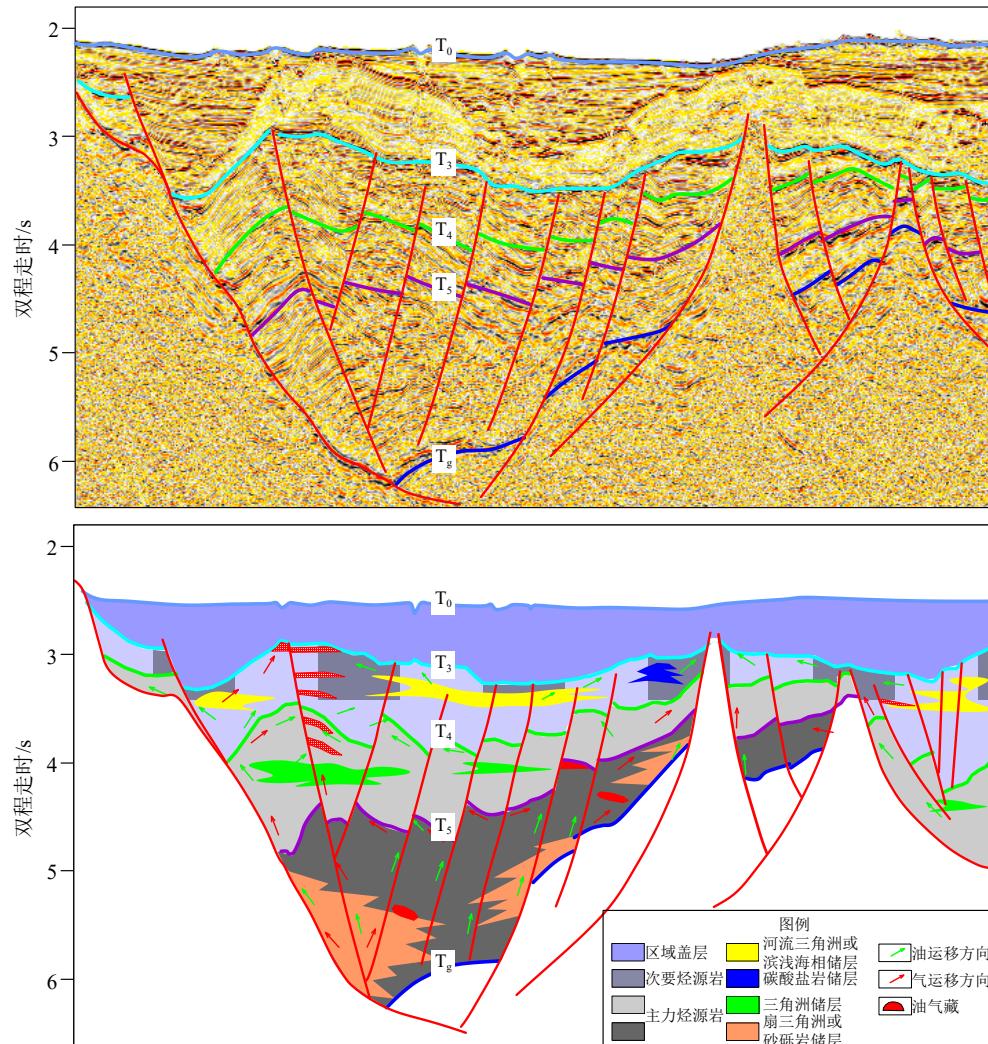


图 9 南安盆地油气成藏模式图
Fig.9 The hydrocarbon accumulation model of Nan'an Basin

型三角洲及扇三角洲、滨浅湖、半深湖-深湖为特征；断拗转换阶段发育远源形大型三角洲、滨浅海、碳酸盐岩，同时在三角洲前缘可能发育源自滑塌的浊积扇体；拗陷热沉降阶段以深水水道、海底扇等深水沉积体为主，局部隆起仍然发育广泛的碳酸盐岩台地。

(4) 南安盆地具有生烃能力大的湖相烃源岩，以砂岩储层为主，中中新世发育碳酸盐岩储层，盖层厚且分布范围广，并形成了早期的自生自储和晚期的下生上储两类油气成藏系统，具有很好的油气资源潜力。

参考文献 (References)

- [1] 肖鸿议, 何云龙, 解习农, 等. 南海万安盆地构造-层序发育特征与构造-沉积充填演化 [J]. 地球科学, 2021, 46(9): 3338-3351. [XIAO Hongyi, HE Yunlong, XIE Xinong, et al. Characteristics of structural-sequence and evolution of tectonic and sedimentary of Wan'an Basin in South China Sea [J]. Earth Science, 2021, 46(9): 3338-3351.]
- [2] 王鹏程, 李三忠, 郭玲莉, 等. 南海打开模式: 右行走滑拉分与古南海俯冲拖曳 [J]. 地学前缘, 2017, 24(4): 294-319. [WANG Pengcheng, LI Sanzhong, GUO Lingli, et al. Opening of the South China Sea: A joint effect of dextral strike-slip pull-apart and Proto-SCS slab pull [J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24(4): 294-319.]
- [3] 雷超, 任建业, 张静. 南海构造变形分区及成盆过程 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2015, 40(4): 744-762. [LEI Chao, REN Jianye, ZHANG Jing. Tectonic province divisions in the South China Sea: Implications for basin geodynamics [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2015, 40(4): 744-762.]
- [4] 陈强, 金庆焕. 南海西部万安断裂活动特征及其对万安盆地的控制作用 [J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(10): 1-8. [CHEN Qiang, JIN Qinghuan. Activity features of Wan'an Fault and its constraints on Wan'an Basin, Western South China Sea [J]. Marine Geology Frontiers, 2017, 33(10): 1-8.]
- [5] 王蓓羽, 张健, 艾依飞. 南海西南部万安盆地新生代沉降分析及构造意义 [J]. 中国科学院大学学报, 2020, 37(6): 784-792. [WANG Beiyu, ZHANG Jian, AI Yifei. Analysis of tectonic evolution characteristics of Wan'an Basin in the Southwest of the South China Sea [J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2020, 37(6): 784-792.]
- [6] 朱荣伟, 刘海龄, 姚永坚, 等. 南海西南次海盆两侧边缘新生代构造沉降特征及演化过程 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2020, 40(6): 82-92. [ZHU Rongwei, LIU Hailing, YAO Yongjian, et al. Cenozoic tectonic subsidence of the continental margins of Southwest Sub-basin, South China Sea and its evolution [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2020, 40(6): 82-92.]
- [7] 解习农, 任建业, 王振峰, 等. 南海大陆边缘盆地构造演化差异性及其与南海扩张耦合关系 [J]. 地学前缘, 2015, 22(1): 77-87. [XIE Xinong, REN Jianye, WANG Zhenfeng, et al. Difference of tectonic evolution of continental marginal basins of South China Sea and relationship with SCS spreading [J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(1): 77-87.]
- [8] 姚伯初. 南海南部地区的新生代构造演化 [J]. 南海地质研究, 1994(6): 1-15. [YAO Bochu. Tectonical evolution on the southern margin of South China Sea [J]. Geological Research of South China Sea, 1994(6): 1-15.]
- [9] Yan P, Liu H L. Tectonic-stratigraphic division and blind fold structures in Nansha Waters, South China Sea [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2004, 24(3): 337-348.
- [10] 刘海龄, 阎贫, 孙岩, 等. 南沙微板块的层块构造 [J]. 中国地质, 2002, 29(4): 374-381. [LIU Hailing, YAN Pin, SUN Yan, et al. Layer-block tectonics of the Nansha microplate [J]. Geology in China, 2002, 29(4): 374-381.]
- [11] Selater J G, Christie P A F. Continental stretching: an explanation of the Post-Mid-Cretaceous subsidence of the central North Sea basin [J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 1980, 85(B7): 3711-3739.
- [12] Lü C C, Hao T Y, Lin J, et al. The role of rifting in the development of the continental margins of the southwest subbasin, South China Sea: Insights from an OBS experiment [J]. Marine Geophysical Research, 2017, 38(1-2): 105-123.
- [13] 王龙, 谢晓军, 刘世翔, 等. 南海南部主要盆地油气分布规律及主控因素 [J]. 天然气地球科学, 2017, 28(10): 1546-1554. [WANG Long, XIE Xiaojun, LIU Shixiang, et al. Analysis of hydrocarbon accumulation and diversity of the major basins in mid-southern part of the South China Sea [J]. Natural Gas Geoscience, 2017, 28(10): 1546-1554.]
- [14] 姚伯初, 刘振湖. 南沙海域沉积盆地及油气资源分布 [J]. 中国海上油气, 2006, 18(3): 150-160. [YAO Bochu, LIU Zhenhu. Sedimentary basins and petroleum resources in Nansha offshore area, South China Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2006, 18(3): 150-160.]
- [15] 李三忠, 索艳慧, 刘鑫, 等. 南海的基本构造特征与成因模型: 问题与进展及论争 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(6): 35-53. [LI Sanzhong, SUO Yanhui, LIU Xin, et al. Basic structural pattern and tectonic models of the South China Sea: problems, advances and controversies [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 32(6): 35-53.]
- [16] 施秋华, 万志峰, 夏斌. 婆罗洲地质构造特征及其对南海南部盆地的影响 [J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(1): 11-16. [SHI Qiuhua, WAN Zhifeng, XIA Bin. Geology of Borneo Block and its influence on basins of southern South China Sea [J]. Marine Geology Frontiers, 2013, 29(1): 11-16.]
- [17] 杨楚鹏, 姚永坚, 李学杰, 等. 万安盆地新生代层序地层格架与岩性地层圈闭 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2011, 36(5): 845-852. [YANG Chupeng, YAO Yongjian, LI Xuejie, et al. Cenozoic sequence stratigraphy and lithostratigraphic traps in Wan'an basin, the Southwestern South China Sea [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2011, 36(5): 845-852.]
- [18] Dung B V, Tuan H A, Van Kieu N, et al. Depositional environment and reservoir quality of Miocene sediments in the central part of the Nam Con Son Basin, southern Vietnam shelf [J]. Marine and Petro-

- leum Geology, 2018, 97: 672-689.
- [19] Lü C L, Wu S G, Yao Y J, et al. Development and controlling factors of Miocene carbonate platform in the Nam Con Son Basin, southwestern South China Sea [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2013, 45: 55-68.
- [20] Thai S P D, Tien V P, Tran N H, et al. Quick pre-stack seismic inversion to predict reservoir properties at a gas and condensate field in Nam Con Son basin [J]. *Petroleum Exploration & Production*, 2007, 10(10): 40-44.
- [21] 赵忠泉, 钟广见, 冯常茂, 等. 南海北部西沙海槽盆地新生代层序地层及地震相[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2016, 36(1): 15-26. [ZHAO Zhongquan, ZHONG Guangjian, FENG Changmao, et al. Cenozoic sequence stratigraphy and seismic facies analysis of Xisha trough basin in northern South China Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2016, 36(1): 15-26.]
- [22] 金庆焕, 李唐根. 南沙海域区域地质构造[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2000, 20(1): 1-8. [JIN Qinghuan, LI Tanggen. Regional geological tectonics of the Nansha sea area [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2000, 20(1): 1-8.]
- [23] 姚永坚, 杨楚鹏, 李学杰, 等. 南海南部海域中新世(T_3 界面)构造变革界面地震反射特征及构造含义[J]. *地球物理学报*, 2013, 56(4): 1274-1286. [YAO Yongjian, YANG Chupeng, LI Xuejie, et al. The seismic reflection characteristics and tectonic significance of the tectonic revolutionary surface of mid-Miocene (T_3 seismic interface) in the southern South China Sea [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2013, 56(4): 1274-1286.]
- [24] 周蒂, 孙珍, 杨少坤, 等. 南沙海区曾母盆地地层系统[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2011, 36(5): 789-797. [ZHOU Di, SUN Zhen, YANG Shaokun, et al. The stratigraphic system of the Zengmu Basin, Southern South China Sea [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2011, 36(5): 789-797.]
- [25] 孙珍, 赵中贤, 周蒂, 等. 南沙海域盆地的地层系统与沉积结构[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2011, 36(5): 798-806. [SUN Zhen, ZHAO Zhongxian, ZHOU Di, et al. The stratigraphy and the sequence architecture of the Basins in Nansha Region [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2011, 36(5): 798-806.]
- [26] Mitchum R M Jr, Vail P R, Sangree J B. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 6: Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences[M]// Payton C E. *Seismic Stratigraphy-Applications to Hydrocarbon Exploration*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1977, 26: 117-135.
- [27] Rankey E C. Seismic architecture and seismic geomorphology of heterozoan carbonates: Eocene-Oligocene, Browse Basin, Northwest Shelf, Australia [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2017, 82: 424-443.
- [28] Hutchison C S. Marginal basin evolution: the southern South China Sea [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2004, 21(9): 1129-1148.
- [29] Madon M, Kim C L, Wong R. The structure and stratigraphy of deep-water Sarawak, Malaysia: implications for tectonic evolution [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 76: 312-333.
- [30] 石巨业, 樊太亮, 周娇, 等. 南图尔盖盆地几种典型地震相分析及其地质意义[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(34): 133-138. [SHI Juye, FAN Tailiang, ZHOU Jiao, et al. Several typical seismic facies in South Turgay Basin and the geological meaning [J]. *Science Technology and Engineering*, 2015, 15(34): 133-138.]
- [31] 孔令辉, 凌涛, 叶青, 等. 地震相分析在沉积相研究中的应用[J]. *复杂油气藏*, 2019, 12(2): 36-40. [KONG Linghui, LING Tao, YE Qing, et al. Application of seismic facies analysis in sedimentary facies research [J]. *Complex Hydrocarbon Reservoirs*, 2019, 12(2): 36-40.]
- [32] 钱星, 张莉, 吴时国, 等. 南海西北次海盆构造演化的沉积响应[J]. *大地构造与成矿学*, 2017, 41(2): 248-257. [QIAN Xing, ZHANG Li, WU Shiguo, et al. Sedimentary Response to Tectonic Evolution of the Northwest Sub-basin, South China Sea [J]. *Geotectonica et Metallogenica*, 2017, 41(2): 248-257.]
- [33] 骆帅兵, 张莉, 徐国强, 等. 基于地震岩相分析的北康盆地晚渐新世沉积体系构建[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2022, 42(1): 123-134. [LUO Shuaibing, ZHANG Li, XU Guoqiang, et al. Reconstruction of Late Oligocene depositional systems in the Beikang Basin by seismic facies analysis [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2022, 42(1): 123-134.]
- [34] Zeng H L. Seismic geomorphology-based facies classification [J]. *The Leading Edge*, 2004, 23(7): 644-688.
- [35] 邱铁成, 王征, 纪中云, 等. 影响沉积盆地地震相分析结果的主要因素研究[J]. *地球物理学进展*, 2014, 29(2): 831-838. [QIU Tiecheng, WANG Zheng, JI Zhongyun, et al. The research on main influence factors of seismic facies analysis in sedimentary basin [J]. *Progress in Geophysics*, 2014, 29(2): 831-838.]
- [36] 朱剑兵, 赵培坤. 国外地震相划分技术研究新进展[J]. *勘探地球物理进展*, 2009, 32(3): 167-171. [ZHU Jianbing, ZHAO Peikun. Advances in seismic facies classification technology abroad [J]. *Progress in Exploration Geophysics*, 2009, 32(3): 167-171.]
- [37] 鲁宝亮, 王璞珺, 梁建设, 等. 古南海构造属性及其与特提斯和古太平洋构造域的关系[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2014, 44(5): 1441-1450. [LU Baoliang, WANG Pujun, LIANG Jianshe, et al. Structural properties of Paleo-South China Sea and their relationship with the Tethys and the Paleo-Pacific Tectonic Domain [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2014, 44(5): 1441-1450.]
- [38] 林长松, 初凤友, 高金耀, 等. 论南海新生代的构造运动[J]. *海洋学报*, 2007, 29(4): 87-96. [LIN Changsong, CHU Fengyou, GAO Jinyao, et al. On tectonic movement in the South China Sea during the Cenozoic [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2007, 29(4): 87-96.]
- [39] 钱坤, 闫义, 黄奇瑜, 等. 南海扩张过程及海陆变迁沉积记录[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(8): 10-23. [QIAN Kun, YAN Yi, HUANG Qiyu, et al. Sea floor spreading of South China Sea and its depositional records of sea and land changes [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(8): 10-23.]
- [40] 张翀, 吴世敏, 丘学林. 南海南部海区前陆盆地形成与演化[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(1): 61-70. [ZHANG Chong, WU Shimin, QIU Xuelin. Formation of foreland basins in the south of the South China Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2007, 27(1): 61-70.]
- [41] 朱荣伟, 姚永坚, 刘海龄, 等. 南海西南次海盆两侧陆缘中生代晚期构造接触关系[J]. *地球科学*, 2021, 46(3): 885-898. [ZHU Rongwei, YAO Yongjian, LIU Hailei, et al. Tectonic contact relationship of the late Mesozoic in the two sides of the southwest margin of the South China Sea [J]. *Earth Science*, 2021, 46(3): 885-898.]

- wei, YAO Yongjian, LIU Hailing, et al. Tectonic contact relationship of continental margins of the Southwest Sub-Basin, South China Sea in Late Mesozoic [J]. *Earth Science*, 2021, 46(3): 885-898.]
- [42] 谢晓军, 赵志刚, 张功成, 等. 南海南部三大盆地油气地质条件差异性 [J]. *地球科学*, 2018, 43(3): 802-811. [XIE Xiaojun, ZHAO Zhigang, ZHANG Gongcheng, et al. Hydrocarbon geological differences of three basins in Southern South China Sea [J]. *Earth Science*, 2018, 43(3): 802-811.]
- [43] 张厚和, 赫栓柱, 刘鹏, 等. 万安盆地油气地质特征及其资源潜力新认识 [J]. *石油实验地质*, 2017, 39(5): 625-632. [ZHANG Houhe, HE Shuanzhu, LIU Peng, et al. New understanding of oil and gas geological characteristics and resource potential in Wan'an Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2017, 39(5): 625-632.]
- [44] 刘旭明, 张成. 南海南部万安盆地烃源岩成熟史数值模拟研究 [J]. *油气地质与采收率*, 2011, 18(2): 34-37. [LIU Xuming, ZHANG Cheng. Numerical simulation of source rock maturity history in Wan'an basin, Southern South China Sea [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2011, 18(2): 34-37.]
- [45] 赵志刚, 刘世翔, 谢晓军, 等. 万安盆地油气地质特征及成藏条件 [J]. *中国海上油气*, 2016, 28(4): 9-15. [ZHAO Zhigang, LIU Shixiang, XIE Xiaojun, et al. Hydrocarbon geological characteristics and reservoir forming conditions in Wan'an basin, South China Sea [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2016, 28(4): 9-15.]
- [46] 金庆焕, 刘振湖, 陈强. 万安盆地中部坳陷: 一个巨大的富生烃坳陷 [J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2004, 29(5): 525-530. [JIN Qinghuan, LIU Zhenhu, CHEN Qiang. The central depression of the Wan'an Basin, South China Sea: A giant abundant hydrocarbon-generating depression [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2004, 29(5): 525-530.]