



南薇西含油气盆地地层层序及生储盖组合特征

周佳维, 张 莉, 雷振宇, 鄢 伟, 骆帅兵, 钱 星

Characteristics of stratigraphic sequence and the source-reservoir-cap assemblages in the Nanweixi petroliferous basin

ZHOU Jiawei, ZHANG Li, LEI Zhenyu, YAN Wei, LUO Shuaibing, and QIAN Xing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2021051201>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

印支运动以来南黄海盆地的构造变形与演化

Tectonic deformation and evolution of the South Yellow Sea basin since Indosinian movement

海洋地质与第四纪地质. 2018, 38(3): 45

东非海岸构造演化及其对南、北主要富油气盆地控藏作用对比

Tectonic evolution of East Africa coast and comparison of hydrocarbon accumulation conditions in the north and south petroliferous basins

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(1): 104

南黄海盆地中、古生界地质特征及勘探方向

Geological characteristics of the Meso-Paleozoic in South Yellow Sea Basin and future exploration

海洋地质与第四纪地质. 2018, 38(3): 24

南黄海盆地东北凹构造特征及伸缩率研究

Tectonic characteristics and extensional-compressional rates of the North-east Sag of South Yellow Sea Basin

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(2): 118

南黄海盆地油气资源调查新进展

New progress of petroleum resources survey in South Yellow Sea basin

海洋地质与第四纪地质. 2018, 38(3): 1

南海西南部西纳土纳盆地油气成藏组合分析与资源潜力评价

Analysis and resource evaluation of hydrocarbon plays in the west Natuna Basin, southwestern part of the South China Sea

海洋地质与第四纪地质. 2018, 38(5): 130



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2021051201

南薇西含油气盆地地层层序及生储盖组合特征

周佳维^{1,2}, 张莉^{1,2}, 雷振宇^{1,2}, 鄢伟^{1,2}, 骆帅兵^{1,2}, 钱星^{1,2}

1. 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广州 510760

2. 自然资源部海底矿产资源重点实验室, 广州 510760

摘要:以广州海洋地质调查局二维多道地震资料和国外钻井资料为基础,厘清区域地质演化过程及其对盆地地层发育的影响,建立邻区盆地地层层序格架。利用跨盆地地震测线,参考邻区盆地,厘定南薇西盆地地层层序及年代,分析地层生储盖组合特征及其油气地质意义。结果表明,盆地内可追踪识别出 7 条不整合面 ($T_1, T_2, T_3, T_3^1, T_4, T_5, T_g$),将地层划分为 7 个层序,除 T_1 界面之外,其他不整合面分别对应新生代重要地质事件(广雅运动、万安运动、南沙运动、南海运动、西卫运动、礼乐运动);盆地成盆年代与邻区盆地相同,基底年代为晚白垩世,推测主要发育花岗岩、火成岩和变质岩, T_3 界面是盆地内最为显著的不整合面,年代为 10.4 Ma,对应万安运动;始新世以来发育三种类型生储盖组合,中新世盆地发育碳酸盐岩地层,可为良好的储层,盆地生、储、盖组合较好,具有良好的油气资源前景。

关键词:地层年代;构造运动;不整合面;南薇西盆地

中图分类号:P736.1

文献标识码:A

Characteristics of stratigraphic sequence and the source-reservoir-cap assemblages in the Nanweixi petroliferous basin

ZHOU Jiawei^{1,2}, ZHANG Li^{1,2}, LEI Zhenyu^{1,2}, YAN Wei^{1,2}, LUO Shuaibing^{1,2}, QIAN Xing^{1,2}

1. Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou 510760, China

2. Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510760, China

Abstract: Based on the 2D multi-channel seismic data from the Guangzhou Marine Geological Survey and the drilling data collected from foreign companies, we studied in this paper the regional geological evolutionary process of the Nanweixi basin and its influence on the development of basin strata. By referring to the stratigraphic sequence frameworks of adjacent basins, cross basin seismic lines are used as tools for stratigraphic correlation. the stratigraphic sequence and chronology of the Nanweixi basin are established then, and the characteristics of source-reservoir-cap assemblage and their petroleum geological significance are analyzed. A total of seven unconformities($T_1, T_2, T_3, T_3^1, T_4, T_5, T_g$)are identified, which can be traced in the basin and used to divide the strata into seven sequences. Excluding the T_1 unconformity, they correspond to important Cenozoic geological events of Guangya movement, Wan'an movement, Nansha movement, Nanhai movement, Xiwei movement, Liyue movement in descending order. The basement of the basin is late Cretaceous in age, as same as that of the surrounding basins. And it is speculated that igneous rocks dominated by granite and metamorphic rocks are well developed. As the most significant unconformity in the basin, the T_3 unconformity is aged 10.4 Ma, corresponding to the Wan'an movement. Three types of source-reservoir-cap assemblages have formed since Eocene. In Miocene, carbonate strata are developed in the basin, and may become a high-quality reservoir. There are excellent source-reservoir-cap assemblages in the basin which may suggest a promising oil and gas prospect.

Key words: stratigraphic chronology; tectonic movement; unconformity; Nanweixi Basin

深水油气勘探是世界油气勘探增长的主要来源,南海南部深水油气盆地是中国海域油气勘探的重点区域^[1-4]。南薇西盆地位于南海南部深水区(图 1),主体水深 1 800~2 000 m,盆地整体呈 SN 向

展布,其西、北以广雅隆起区分别与万安盆地、中建南盆地相隔,其南部以隆起带和岛礁区与北康盆地相邻^[5],盆地面积约 $3.3 \times 10^4 \text{ km}^2$,最大沉积厚度达 11 000 m^[6],油气资源前景广阔。其邻区万安盆地、

资助项目:中国地质调查局二级项目(DD20190213)

作者简介:周佳维(1993—),男,硕士,助理工程师,主要从事海域油气资源调查研究, E-mail: 1115477978@qq.com

通讯作者:张莉(1965—),女,博士,教授级高级工程师,主要从事海洋地质、海洋石油地质等研究, E-mail: zhangligmgs@qq.com

收稿日期:2021-05-12; 改回日期:2021-07-19。 周立君编辑

中建南盆地、北康盆地已有钻井或油气发现^[7-8], 相比邻区盆地, 南薇西盆地勘探程度较低。国外在盆地西南角(国外 Vung May 盆地位置)有一口井 H 井, 该井详细资料未公开发表。

受资料限制, 前人基于地震资料, 结合区域地质背景和盆地形成演化过程, 主要开展了地层层序划分、地层沉积特征、油气资源前景等研究^[6, 9-10]。由于缺乏钻井、古生物、测井等资料, 前人主要参考邻区盆地地层划分方案, 确定南薇西盆地地层划分及其年代, 但未达成统一认识。孙珍等^[2]认为南薇西盆地与北康盆地在盆地类型、形成演化过程, 地层与结构等方面都较为相似, 常将两盆地并列论述, 两盆地地层层序划分及年代等结论一致。杨木壮等则认为南薇西盆地地层划分及年代与万安盆地相同。准确划分南薇西盆地地层层序, 厘定地层年代, 分析地层生储盖组合特征, 对盆地油气勘探具有重要意义。

本文参考前人研究成果, 以高品质地震资料为基础, 广泛搜集、整理邻区盆地钻井资料, 分析区域地质事件对地层发育的影响, 以地质事件响应在地震剖面上的不整合面作为划分地层层序的依据。在综合利用地震资料、钻井资料建立南薇西盆地邻区万安盆地地层层序格架基础上, 利用跨盆地地震剖面的识别追踪, 参考万安盆地划分南薇西盆地地

层层序, 依托区域地质事件年代及邻区钻井资料揭示的地层年代, 探讨南薇西盆地地层年代, 分析南薇西盆地地层生储盖组合特征, 探讨油气地质意义。

1 资料与方法

为了准确划分南薇西盆地地层层序, 厘定地层年代, 分析地层生储盖组合特征及其油气地质意义, 本文通过理清区域地质演化过程对地层发育的影响, 以重要地质事件形成的不整合面作为地层层序划分依据。参考前人成果, 在综合利用地震及钻井资料建立万安盆地地层层序格架基础上, 利用跨南薇西盆地和万安盆地地震测线, 确定南薇西盆地地层层序划分, 综合区域地质事件年代及邻区钻井资料揭示的地层年代, 探讨南薇西盆地地层年代。南薇西盆地邻区的万安盆地, 国外公布的钻井资料最多, 前人研究程度较高, 认识比较统一, 具备作为参考的基础。两盆地间存在跨盆地长地震测线, 地震资料显示原来分隔两盆地的广雅隆起区沉积有较厚的地层(图 2), 地震反射界面可以连续追踪识别, 为地震资料解释追踪识别提供了有利条件。

本文所用钻井资料来自国外 IHS 数据库, 收集整理了万安盆地国外 16 口钻井资料, 其中 10 口井钻遇盆地基底, 7 口井(井位置见图 1)具有完整的

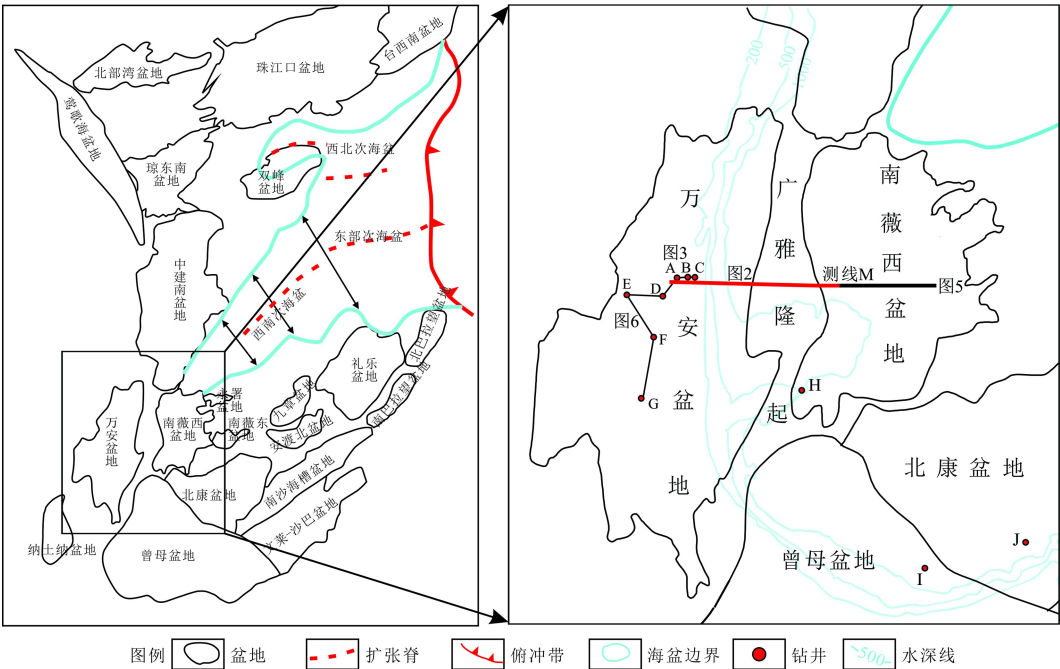


图 1 南海南部主要盆地分布及研究区位置图
钻井资料来自 IHS 数据库。

Fig.1 The distribution of basins in southern South China Sea and the location of the study area
The wells data come from IHS database.

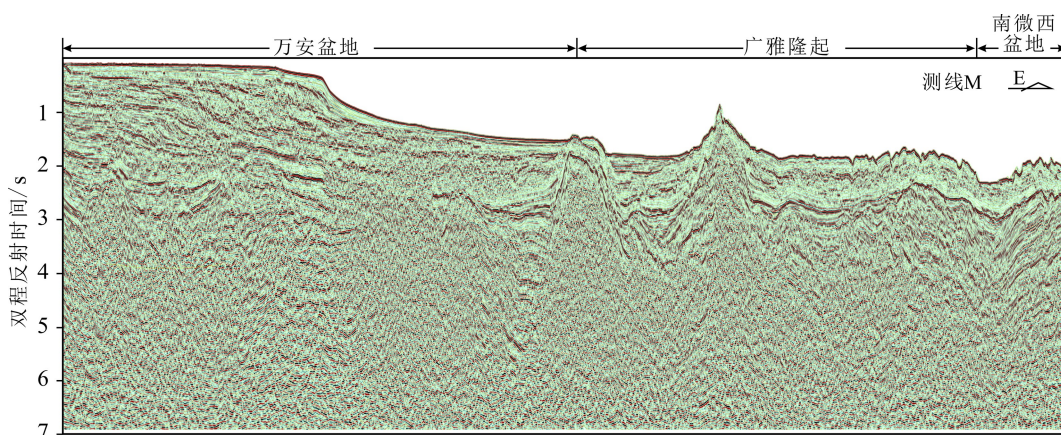


图 2 地震测线 M 局部剖面图

图 1 中 M 测线红色段。

Fig.2 Seismic profile of M line

Red section of seismic line M in Fig.1.

岩性剖面,有 2 口井钻遇碳酸盐岩。所用跨南薇西盆地和万安盆地的地震剖面为广州海洋地质调查局在该区域取得的高品质地震测线(测线位置见图 1)。测线为东西向长测线,覆盖万安盆地、广雅隆起和南薇西盆地,在万安盆地部分有三口国外钻井紧邻测线。

2 区域地质演化

南薇西盆地奠基在南沙地块,新生代以来欧亚板块、太平洋板块和印-澳板块三大板块相互作用,引发多期构造运动,古南海的俯冲消亡和新南海的多期扩张,又进一步影响了盆地地层发育。构造运动对海平面变化和物源供给起决定性作用,是控制地层层序发育的核心因素^[1],在地震剖面上构造运动往往与不整合面对应。通过理清南薇西盆地地质演化过程,建立不整合面与重要地质事件的关系。区域钻井、地震等资料综合显示,南沙海域新生代经历了 6 次重要构造运动和 2 次全球性海平面升降变化(表 1)^[12-13],包括晚白垩世礼乐运动、中始新世末西卫运动、早渐新世末全球海平面下降、晚渐新世末南海运动、早中新世末南沙运动、中中新世末万安运动和全球海平面下降以及晚中新世末广雅运动。

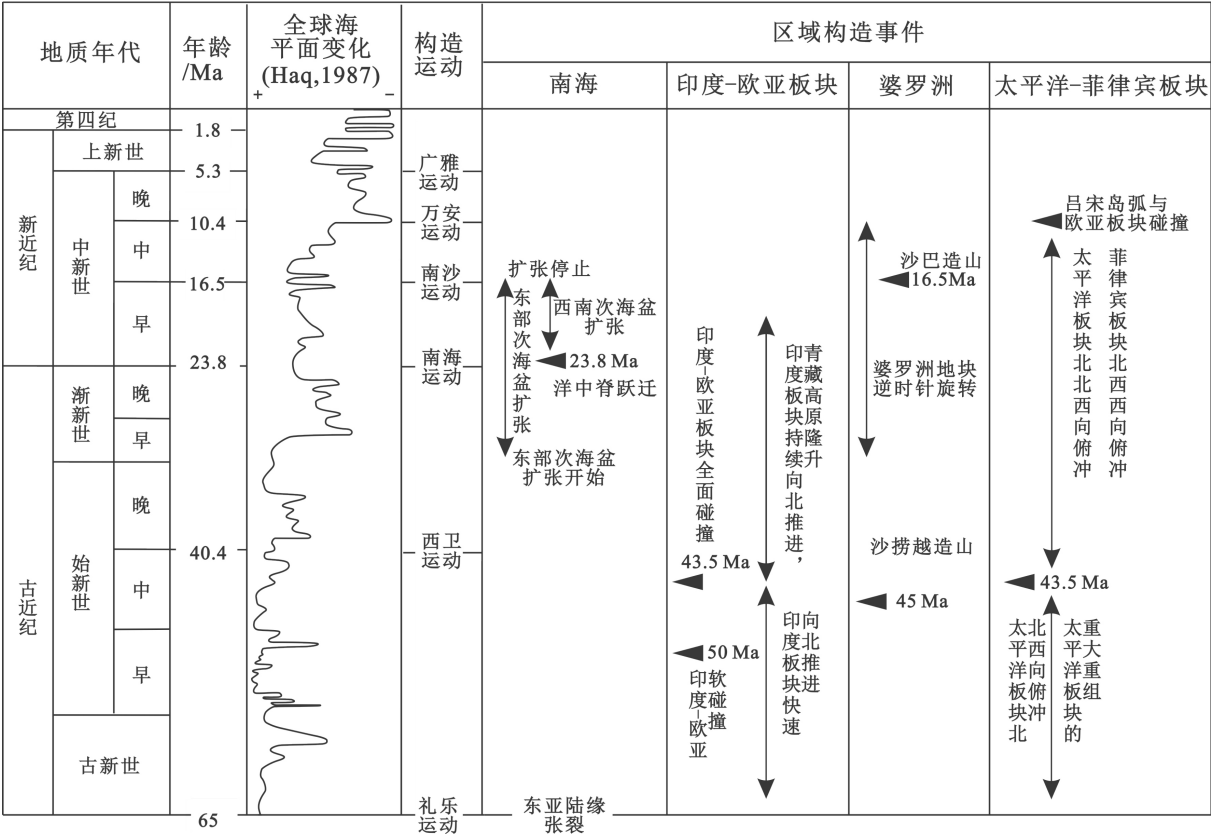
礼乐运动(T_6):晚白垩世,太平洋板块向欧亚板块俯冲发生后撤^[14],导致东亚陆缘应力松弛^[15],形成了一系列 NE 向断裂和地堑或半地堑,奠定了南海沉积盆地发育的构造格局,南薇西盆地开始形成,形成盆底基底不整合面 T_6 。该期构造运动命名为礼乐运动,对应南海北部的神狐运动。礼乐盆地

sampagita-1 井和 A-1 井均钻遇礼乐运动形成的不整合面,钻井资料显示地层时代为中生代末期(58.7 Ma)^[16]。

西卫运动(T_5):50 Ma 印度-欧亚板块汇聚速度由 12~20 cm/a 骤降至 5 cm/a,印度板块开始与欧亚板块接触发生软碰撞。约 43.5 Ma 印度板块与欧亚板块全面硬碰撞,碰撞大约呈 NE25°方向^[17],42 Ma 太平洋板块向欧亚板块俯冲方向由 NNW 变成 NWW,两侧挤压应力环境造成华南地区南北向拉伸作用增强,区域地壳强烈减薄,南薇西盆地裂陷增强,盆地形成演化加速。伴随古南海向南俯冲消减,南沙块体从华南大陆边缘裂离,向东南方向漂移,南薇西盆地由陆相沉积环境,逐渐向海相沉积环境过渡。中始新世末,曾母地块与北婆罗洲碰撞,形成不整合面 T_5 ,婆罗洲北部边缘拉姜群强烈挤压变形,石英岩脉充填其间显示了此次碰撞。礼乐 sampagita-1 井证实中始新世与晚始新世之间(40.4 Ma)存在不整合面,这次运动被命名为西卫运动^[18],国外 Hutchison 称之为沙捞越造山运动^[19]。

南海运动(T_4):南沙地块向南漂移期间受到新南海多期次扩张的影响,南海扩张动力学成因模式存在争论,但根据异常磁条带分析确定的南海扩张演化过程基本能达成统一。异常磁条带资料显示,早渐新世末(约 32 Ma),南海东部次海盆沿南北方向开始扩张,晚渐新世末(约 23.8 Ma),扩张脊跃迁,西南次海盆由北东向南西逐渐打开^[20-21]。15 Ma 东部次海盆停止扩张,16 Ma 西南次海盆扩张结束,IODP349 航次钻探结果验证了两次海盆扩张停止的时间^[22]。南海扩张造成了盆地裂陷作用的进一步加剧,南海扩张具有多期次性,不同次海盆扩张影响的范围不同。前人研究礼乐盆地和北康盆地

表 1 区域主要构造运动^[12-13]
Table 1 The main regional tectonic events^[12-13]



地层时,将形成早、晚渐新世之间不整合面的构造运动命名为“南海运动”,虽具体时间上存在差异,但均归因为东部次海盆扩张的影响。南薇西盆地距离东部次海盆较远,东部次海盆扩张可能很难对其造成显著影响,根据李家彪研究成果^[23],西南次海盆是在 23.8 Ma 扩张脊发生跃迁之后才开始扩张,并且扩张是沿扩张脊东北向西南逐渐打开,因此 32 Ma 年南海西南部可能未有海盆扩张影响。且南海西南部万安盆地、中建南盆地钻井资料证实,晚渐新世末期,盆地存在不整合面,对应西南次海盆的扩张时期。南薇西盆地毗邻万安盆地,距离西部次海盆较近,由“南海运动”形成的不整合面年代应当也对应为西南次海盆扩张时间 23.8 Ma。南海西南次海盆的扩张造成了南薇西盆地进一步裂解,形成 T₄ 不整合面。

南沙运动(T₃¹): 古地磁数据显示,早中新世—中中新世婆罗洲地块发生了逆时针旋转,这种旋转可能导致南沙地块与西北婆罗洲沿南沙海槽东南侧,由南西向东北方向依次碰撞^[24]。16.5 Ma 南沙地块与婆罗洲地块北部碰撞,碰撞导致南海东部次海盆和西部次海盆几乎同时停止扩张。碰撞产生褶皱、不整合和逆冲断裂、推覆逆掩体等,在南海南

部形成一个非常显著的区域性不整合面 T₃¹, Mulu-1 和 Bako-1 两口钻井,钻遇该不整合面,两口井的古微生物资料揭示,不整合面时间为 16.5 Ma^[25]。国外称碰撞不整合面(Collision Unconformity, CU)或中中新世不整合面(Middle Miocene Unconformity, MMU)。此次构造运动在北婆罗洲地区表现为沙巴造山运动,在南海南部海域对应南沙运动。碰撞形成的 T₃¹ 不整合面是离碰撞带较近的北康盆地和曾母盆地最为显著的不整合面,但在离碰撞带较远的南薇西盆地仅局部发育。南沙运动使南薇西盆地随南沙地块定位到现今位置,盆地受南海扩张影响结束,进入热沉降阶段。

万安运动(T₃): 吴进民^[26] 在研究万安盆地地层时,根据中中新世和晚中新世地层之间存在一区域不整合面,首次提出万安运动,钻井资料揭示该不整合面年代为 10.4 Ma。万安运动引起南薇西盆地隆升剥蚀,形成盆地最为显著的不整合面,对应 T₃ 不整合面。前人对于万安运动的成因并未形成明确而统一的解释,一些人认为万安运动是由南海西缘万安断裂右旋走滑引起,区域构造应力场由张扭转为压扭,盆地隆升遭受剥蚀,产生花状、褶皱等构造,但是走滑运动作用有限,不足以影响整个南

海南部盆地。一些人认为11 Ma 礼乐-东北巴拉望与加里曼丹-苏禄地块碰撞,10.5 Ma 菲律宾海板块与欧亚板块在吕宋岛和民都洛岛位置发生碰撞,产生北东向挤压,在复杂构造运动综合影响下可能形成了万安运动^[27-28]。中中新世晚期(15~12 Ma),印度板块东缘与东南亚西部边缘发生斜向碰撞,导致印缅山脉的形成并抬升。因此,中中新世期间,南海地区周边整体上处于挤压的构造应力场作用之下,这可能是南沙运动产生的根本原因,但万安运动确切的动力学成因还需进一步研究。

广雅运动(T_2):中新世末(约5.3 Ma),广雅运动造成盆地隆升剥蚀,形成了区域不整合面,万安盆地和中建南盆地钻井揭示5.3 Ma 存在不整合面,南薇西盆地对应 T_2 不整合面。上新世之后南薇西盆地整体进入海相沉积环境,发育了巨厚的泥岩。前人将造成此次不整合面的构造运动称为广雅运动,广雅运动成因同样未形成共识。解习农等^[13]认为5.5~5 Ma 期间,斑-苏禄地块和巽他地块发生碰撞,菲律宾弧和巴拉望地块碰撞,台湾岛弧-陆碰撞,碰撞造成中新世和上新世之间存在不整合。

Haq^[29]研究表明新生代以来全球发生了两次海平面剧烈下降,分别对应早渐新世末期和中中新世末期。在全球海平面剧烈下降背景下,构造运动造成的区域地层隆升,造成地层剥蚀,两种地质事件共同作用形成盆地强烈不整合面。

3 层序地层特征

3.1 层序界面地震反射特征

不整合面是地层层序划分的重要依据,基于层序地层学原理,根据地震反射的终止现象,包括超覆尖灭(底超、顶超)、削截、上超等,在南薇西盆地识别了 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_3^1 、 T_4 、 T_5 、 T_g 共7个新生代地震反射不整合界面,其中 T_3^1 不整合面仅局部发育。

T_g 界面为盆地新生界基底,总体为中-低频、强振幅、中连续-断续反射。同相轴粗糙,具有风化面反射特征;在拗陷区,多呈低频、中-强振幅、断续反射,不易连续追踪;在斜坡区为低频、强振幅、连续反射,界面上部反射结构特征清晰,下部为杂乱反射。

T_5 界面总体为中-低频、中-低振幅、中-低连续反射。界面上部为亚平行结构,反射连续性好,具有低频率、中-强振幅反射特征;界面之下为中频、中-强振幅、中-低连续反射,与界面之上地层相比,反射轴连续性明显变差,反射较为杂乱。

T_4 界面多为中-低频、较连续的强反射,产状大体与 T_5 界面平行。界面之上为中-低频、中-强振幅反射,连续性较好,界面之下为中-低频、中-强振幅反射,连续性差。

T_3^1 界面在南薇西盆地仅在南部可局部追踪,在其他位置没有明显的识别特征,但实际地层中该界面应该存在,万安盆地和北康盆地都有钻井钻遇该不整合面。

T_3 界面是盆地内表现最为强烈的削截面,是变形前后两大套地层的分界,上覆地层未变形或轻微变形,具上超充填特征,下伏地层发生不同程度变形,断层和褶皱发育,断层延伸多在此界面截止;该界面起伏大,同相轴粗糙、扭曲。

T_2 界面为高连续、强振幅反射,界面平直、稳定,受断层活动影响较小,全区均能较可靠追踪对比。界面上下反射层未变形或轻微变形。

T_1 界面在调查区广泛分布,界面平直、稳定、连续性好,其反射特征与 T_2 界面相似。

3.2 地层层序划分

前人综合地震资料、区域地质背景、区域钻井等资料,在区域内识别追踪出不整合面,进行了盆地地层层序划分(表2)。万安盆地国外钻井资料丰富,前人对盆地地层层序划分认识比较一致^[2,5,30-31]。南薇西盆地无钻井资料限定,前人对地层层序划分具有不同认识,但基本与万安盆地一致,差异在于早中新世不整合面(T_3^1)是否存在以及渐新世不整合面(T_4)的年代。南薇西盆地和万安盆地存在跨盆地的地震测线M(图1),本文将测线M万安盆地范围内识别的地震反射不整合面延伸至南薇西盆地,参考万安盆地划分南薇西盆地地层,因而准确建立万安盆地地层层序格架是基础。与前人认识一致,本文在万安盆地内识别了7条地震反射不整合面,收集的5口国外钻井资料同样证实了盆地内7条不整合面的存在,具体情况在层序地层年代部分有论述,此处暂不展开。地震资料解释的不整合面与钻井钻遇的不整合面是否一致需要验证。下面通过地震资料和钻井资料对比分析,确定测线M在万安盆地内地震解释的正确性。

万安盆地内测线M附近有三口国外钻井,由西向东为A、B和C,位置见图1,井资料如表3。三口井井柱如图3,A井完井井深2462 m,钻遇晚白垩纪基底,钻深2237 m钻遇中新世和上新世之间不整合面,不整合面之下发育中中新世碳酸盐岩,晚中新世地层被剥蚀,界面之上为上新世泥岩;B井完

表 2 南薇西盆地地层划分^[2,5,30-31]
Table 2 Sequences division of the Nanweixi basin^[2,5,30-31]

地质年代		年龄 /Ma	构造事件	全球海 平面变化	万安 盆地	北康 盆地	南薇西盆地				
							杨木壮 等, 1999	孙珍等, 2011 徐行等, 2003	本文		
第四纪		1.8			T ₁	T ₁	T ₁	T ₁	T ₁		
新近纪	上新世	5.3	广雅运动		T ₂	T ₂	T ₂	T ₂	T ₂		
	中新世	晚	10.4		万安运动	T ₃	T ₃	T ₃	T ₃	T ₃	
		中	16.5		南沙运动	T ₃ ¹	T ₃ ¹	T ₃ ¹	T ₃ ¹	T ₃ ¹	
		早	23.8		南海运动	T ₄	T ₄	T ₄	T ₄	T ₄	
古近纪	渐新世	晚									
	早										
	始新世	晚	40.4		西卫运动	T ₅	T ₅	T ₅	T ₅	T ₅	
		中									
		早									
古新世		58.7	礼乐运动	T ₆	T ₆	T ₆	T ₆	T ₆			

表 3 万安盆地过测线 M 井资料
Table 3 Data of the wells crossing seismic line M
in Wanan Basin

井名	井深/m	钻遇碳酸盐岩深度/m	碳酸盐岩年代
A	2462	2237	中中新世
B	2593	2363	中中新世
C	2442	-	-

井井深 2593 m, 钻深 2312 m 钻遇中新世和上新世不整合面, 界面之上为上新世巨厚的泥岩, 界面之下开始钻遇碳酸盐岩和砂岩, 钻深 2363 m 钻遇中中新世和晚中新世之间不整合面, 钻遇中中新世碳酸盐岩; C 井完井井深 2442 m, 井深 2313 m 钻遇中新世和上新世不整合面, 界面之上为泥岩夹砂岩, 界面之下为泥岩, 推测下部地层有碳酸盐岩发育。

分析国内过井测线 M 地震剖面, 据碳酸盐台地的外部几何形态、内部反射结构及其与周围岩层的接触关系等, 可以识别出碳酸盐岩台地(图 4)。台地顶界反射清晰, 具有连续、低频、强振幅反射特征, 界面之上碎屑岩以下超接触形式覆盖在碳酸盐岩台地之上, 台地内部呈连续性较差的弱反射特征, 台地左侧边缘发育生物礁, 生物礁界面上超特征明显, 台地右侧边缘为断层界面。根据中海油^[32]研究中心提供的南沙地区地震波时深转换经验公式 $y = -5.1578x^3 + 133.48x^2 + 712.06x - 2.4356$, 式中 y 是地层深度, x 为双程走时。碳酸盐岩台地顶界双程走时时间约为 2.5 s, 计算地震剖面上深度为 2274 m, 与钻井钻遇的碳酸盐岩深度相当(表 3)。井震资料对比表明, 万安盆地测线 M 地震剖面地层划分方

案是可靠的。参考万安盆地层序划分方案, 根据地震剖面反射特征可对比划分南薇西盆地地层(图 5)。

3.3 地层层序时代探讨

3.3.1 盆地基底年代

万安盆地国外已有大量钻井钻遇盆地基底, 钻井岩性显示基底主要为晚中生代侵入岩、火山岩和变质沉积岩^[33-34]。本文收集了 10 口钻遇基底的钻井(表 4), 主要钻遇白垩纪花岗岩、花岗质片麻岩和侵入岩, 05-DH-03X 井钻遇晚侏罗纪花岗岩, 年代较老, 该井位于盆地隆起位置, 早期地层剥蚀可能比较严重。

南薇西盆地目前仅有一口钻井 H 井, 未钻遇盆地基底。围区万安盆地基底年代均为晚白垩世, 基底岩性以花岗岩、侵入岩和变质岩为主。参考围区盆地基底, 推测南薇西盆地基底年代为晚白垩世, 主要发育花岗岩、火成岩和变质岩。

3.3.2 沉积地层年代

构造运动以不整合面响应在地震剖面上, 通过前文梳理的区域地质事件年代可以初步限定不整合面的时代。通过跨盆地地震测线 M 连续追踪识别, 划分了南薇西盆地地层层序, 因而通过万安盆地地层年代的准确厘定, 可以进一步厘定南薇西盆地地层年代。

本文收集整理了万安盆地 5 口钻井资料(图 6), 万安盆地内基底不整合面和渐新世以来不整合面均有钻井钻遇, 钻井资料揭示了不整合面年代。T₁ 不整合面是新近纪与第四纪的分界面。年代为 1.8 Ma。界面上下地层以不整合-假整合接触, 界面

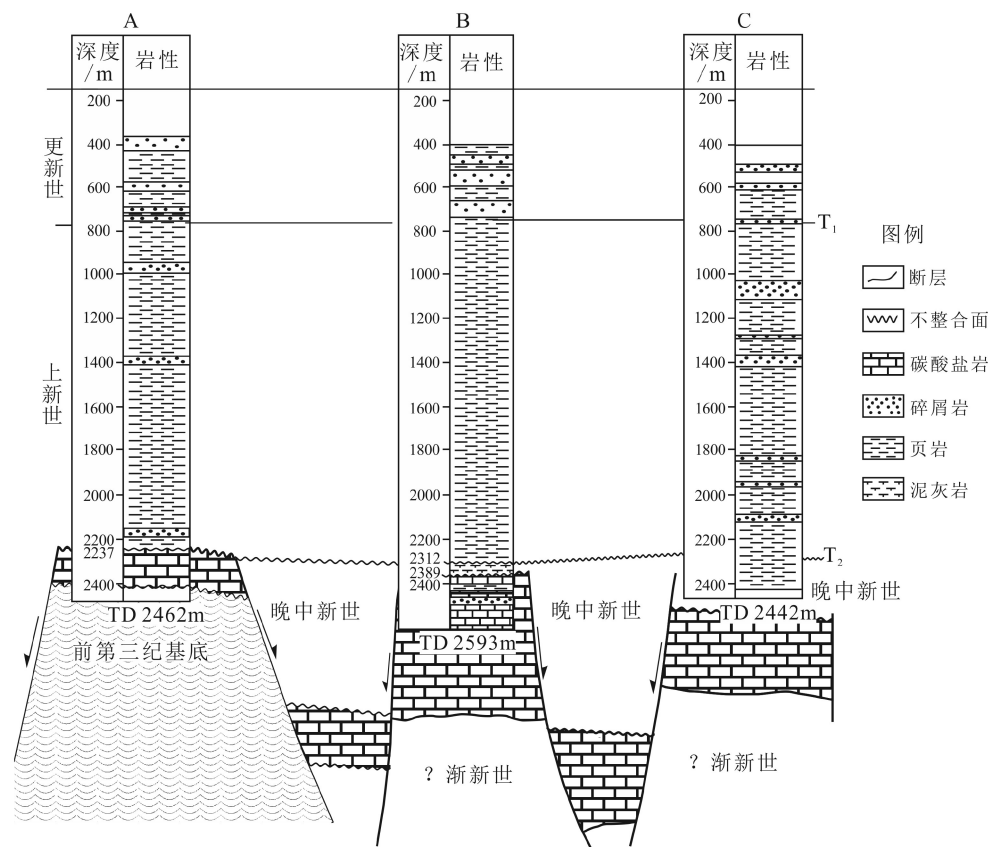


图 3 万安盆地过测线 M 测线井柱
根据 IHS 数据修改。

Fig.3 Wells crossing seismic line M in Wan'an Basin
Based on IHS database.

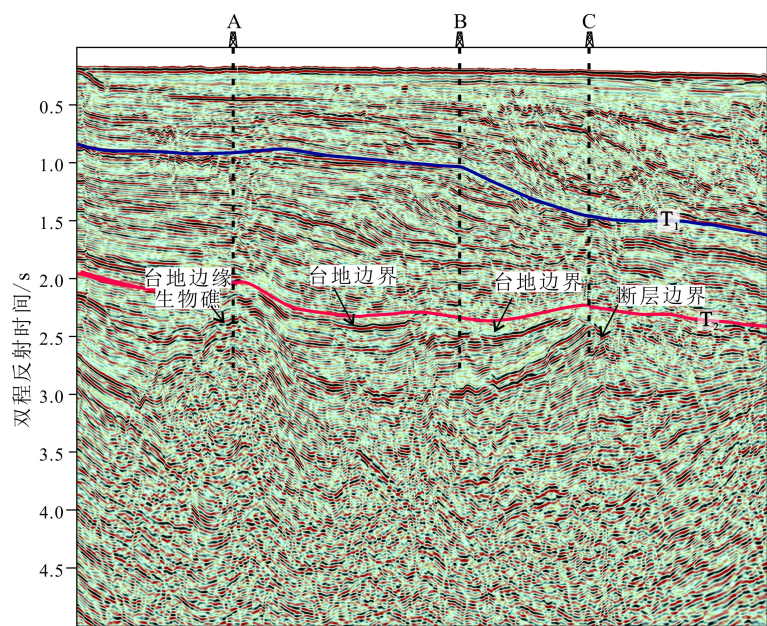


图 4 测线 M 碳酸盐岩台地地震剖面

Fig.4 Seismic profile of the carbonate platform in seismic line M

之上为第四系砂泥岩互层。T₂ 不整合面是上新世与中新世的分解面, 对应广雅运动, 年代 5.3 Ma, 不整合面为中-低频, 中-强振幅, 连续反射。界面上下以不整合-假整合接触, 地层主要为较厚的砂岩夹泥

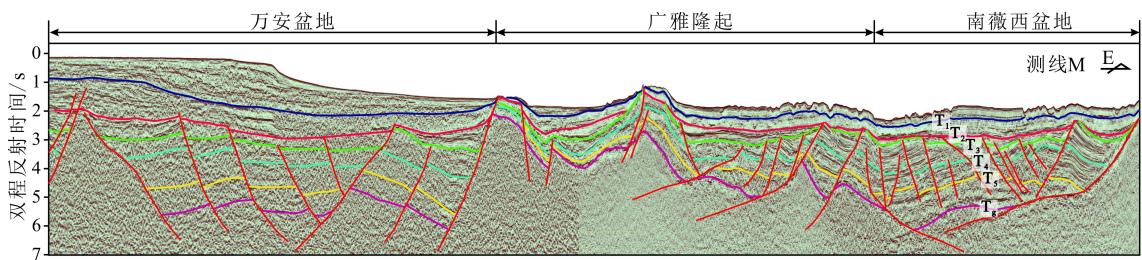


图 5 测线 M 地震剖面图
Fig.5 Seismic section of line M

表 4 万安盆地基底钻井资料

Table 4 Wells penetrated the basement of the Wanan Basin

井名	井深/m	岩性	年代
04-A 1X	2462	风化基底, 花岗岩	白垩纪
05-1a-DH03P	2569	花岗质片麻岩	白垩纪
05-1a-DH05P	2994	花岗质片麻岩	白垩纪
05-1a-DH05X	3094	花岗质片麻岩	白垩纪
05-DH 02X	2836	花岗岩	白垩纪
05-DH 03X	3758	花岗岩	晚侏罗世
06-A 1X	4202	花岗岩	白垩纪
12-B 1X	3948	侵入火成岩	白垩纪
12-C 1X	3657	侵入火成岩	白垩纪
12W-CC 1X	2894	花岗岩、闪长岩	白垩纪

注: 井资料来自IHS数据库。

岩, 部分区域为砂泥岩混层并发育泥灰岩。 T_3 不整合面是盆地内最显著的不整合面, 对应万安运动, 年代为 10.4 Ma, 不整合面为中频, 强振幅, 中连续-连续反射, 与下覆地层不整合接触, 界面之上地层层上超, 底超明显, 界面之上地层未变形或微弱变形, 主要发育泥岩和灰岩, 界面之下地层发生明显变形, 被断层错断明显。 T_3' 不整合面对应南沙运动, 年代为 16.5 Ma, 界面以中低频、较连续反射为特征, 界面上下呈不整合-假整合接触, 界面之上地层灰岩发育, 部分地区地层直接覆盖在基底之上。 T_4 不整合面是西南次海盆扩张的响应, 不整合面呈中-低频、中-强振幅反射特征, 年代为 23.8 Ma, 不整合面上下以不整合-假整合接触, 界面上地层以砂岩为主。 T_5 不整合面对应西卫运动, 年代为 40.4 Ma, 不整合面特征为低频、强振幅反射, 界面粗糙, 连续性差, 隆起部位与基底不整合面重合, 界面上下以假整合-不整合接触, 万安盆地内目前公布的钻井井深较浅, 未钻遇该不整合面, 该界面是根据地震剖面结合区域地质事件推测得到的。 T_g 不整合面为基底不整合面, 为低频、强振幅、断续-中连续反射,

基底主要为晚中生代侵入岩、火山岩和变质沉积岩组成^[34-35], 部分区域中新世或渐新世地层直接覆盖在基底之上。

综合以上区域地质事件、盆地基底特征及成盆年代、邻区地层年代等研究, 可以确定南薇西盆地不整合面年代及其地质属性: T_1 为 1.8 Ma, 是新近纪与第四纪的分界; T_2 为 5.3 Ma, 对应广雅运动; T_3 为 10.4 Ma, 对应万安运动; T_3' 为 16.5 Ma, 对应南沙运动; T_4 为 23.8 Ma, 对应南海运动; T_5 为 40.4 Ma, 对应西卫运动; T_g 为 58.7 Ma, 对应礼乐运动。

4 生储盖组合特征

南薇西盆地伴随南沙地块向南漂移过程中, 受到一系列构造运动和南海形成演化的综合影响, 地层由陆相向海相转变, 发育多套烃源岩、储层和盖层, 油气条件良好。可能发育中始新统、上始新统-下渐新统、上渐新统-中中新统 3 套烃源岩, 发育中始新统、上始新统-下渐新统、上渐新统-中中新统、上中新统 4 套储层, 上始新统-中中新统发育局部盖层, 上新统一第四系发育区域盖层(表 5)。晚始新世至中中新世, 南薇西盆地断层发育, 部分断层从盆地基底延伸至中中新统顶部, 断层提供了上下地层油气运移通道, 生储盖组合可能性增多。盆地内可能发育自生自储自盖、下生上储上盖、上生下储上盖 3 种类型生储盖组合。

古新世至中始新世, 南沙地块与华南古陆相连, 盆地主要为河流和冲积环境的快速沉降, 局部为湖相沉积环境。中始新统湖相、沼泽相泥岩、炭质泥岩和煤系地层可为良好的烃源岩, 河流、冲积扇和冲积平原砂岩储集性能良好, 可为盆地储层, 泥岩可为良好的局部盖层, 可形成自生自储自盖组合。通过断层与上部海相烃源岩沟通, 也可以形成上生下储上盖组合。

晚始新世至早渐新世, 盆地进入海陆过渡沉积环境。上始新统一下渐新统, 盆地拗陷内海相泥岩

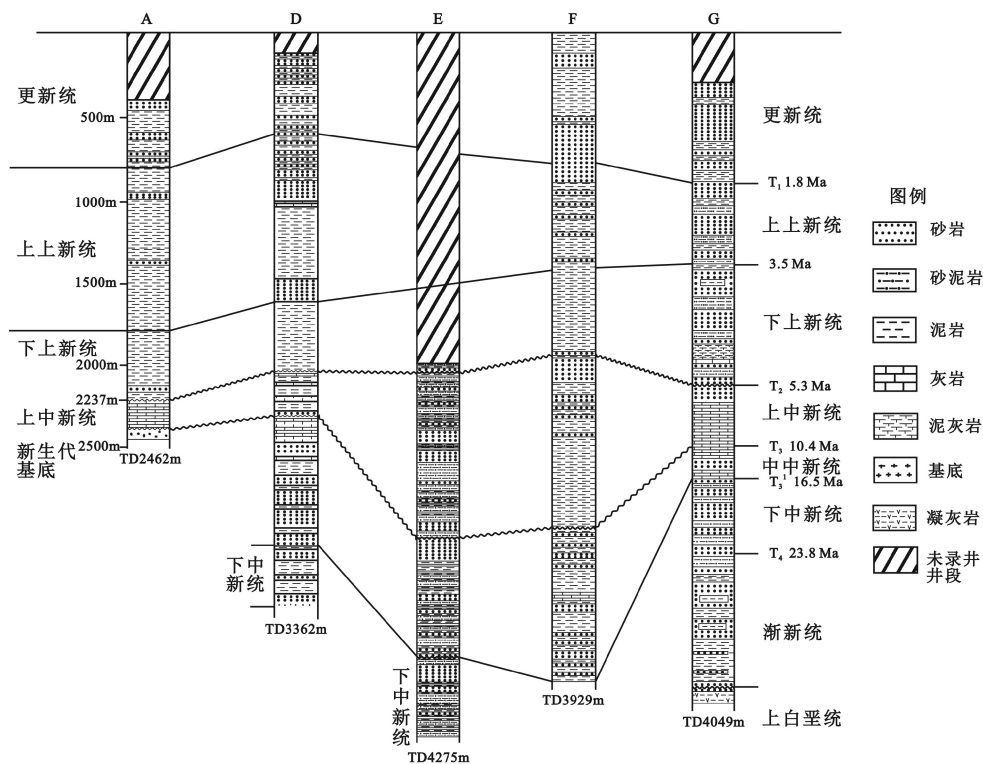


图 6 万安盆地钻井连井剖面
井资料来自 IHS 数据库。

Fig.6 Drilling columns in Wan'an Basin
The wells data come from IHS database.

表 5 南薇西盆地生储盖地层分布
Table 5 Distribution of source-reservoir-cap rocks in Nanweixi Basin

地质年代			年龄 /Ma	构造事件	不整合面	沉积环境	烃源岩	储层	盖层
第四纪			1.8		~T ₁ ~	深海 半深海 浅海			浅海-半深海 砂泥岩 区域盖层
新近纪	上新世		5.3	广雅运动	~T ₂ ~				
	中新世	晚	10.4	万安运动	~T ₃ ~	浅海	海相沉积 的砂泥岩 和泥岩	碳酸盐岩 浅海相砂岩	各层组同时期泥岩 局部盖层
		中	16.5	南沙运动	~T ₃ ¹ ~				
		早	23.8	南海运动	~T ₄ ~				
	古近纪	渐新世	晚	40.4	西卫运动				
早									
始新世		晚	中			早			
		早							
古新世			58.7	礼乐运动	~T _g ~				

发育, 是良好的烃源岩, 海陆过渡相、浅海相砂岩可为盆地储层, 海相泥岩封闭性能好, 可为局部盖层, 可形成自生自储自盖组合。受断层沟通影响, 海陆过渡相砂岩储层也可与上部海相泥岩形成上生下储上盖组合, 亦可与下部陆相烃源岩形成下生上储

上盖组合。
晚渐新世至中中新世, 南薇西盆地逐渐全部进入海相沉积环境, 发育浅海相砂岩储层。邻区盆地钻井显示, 中中新世区域内广泛发育碳酸盐岩, 南薇西盆地 H 井钻穿中新世至上新世碳酸盐岩, Bo N

Q等^[35]推测该井钻遇的碳酸盐岩可能在晚渐新世已经发育,盆地内碳酸盐岩地层亦可能成为盆地良好的储层。海相泥岩可为烃源岩也可成为良好局部盖层,可形成自生自储自盖组合,同时受断层影响,可以与深部海陆过渡相烃源岩、陆相烃源岩形成下生上储上盖组合。

晚中新世以后,南薇西盆地发育大片厚层海相泥岩,形成区域性良好盖层,发育海岸平原、浅海砂岩和浊积岩储层。油气从较深部位沿断裂运移上来,可形成下生上储上盖组合。

5 结论

(1)根据地震反射特征,在南薇西盆地追踪识别出7条不整合面(T_1 , T_2 , T_3 , T_3^1 , T_4 , T_5 , T_g),将地层划分为7个层序,重新厘定南薇西盆地地层年代,除 T_1 界面外,其他界面均有地质事件对应。 T_1 界面年代为1.8 Ma; T_2 界面年代为5.3 Ma,对应广雅运动; T_3 界面年代为10.4 Ma,对应万安运动; T_3^1 界面年代为16.5 Ma,对应南沙运动; T_4 界面年代为23.8 Ma,对应南海运动; T_5 界面年代为40.4 Ma,对应西卫运动; T_g 界面年代为58.7 Ma,对应礼乐运动。

(2)中中新世末(10.4 Ma),万安运动形成的 T_3 不整合面是南薇西盆地最显著的不整合面,该界面是变形前后地层的分界,界面之上地层基本无变形或变形微弱,界面之下地层变形明显,断层褶皱发育,盆地内断层延伸多在此界面终止。

(3)根据国外钻井资料分析认为,南薇西盆地中新世发育碳酸盐岩地层,可以成为良好的储层。盆地内可能发育自生自储自盖、下生上储上盖、上生下储上盖3种类型生储盖组合。古新统至中始新统,可能发育自生自储自盖组合和上生下储上盖组合,上始新统至下渐新统,可能发育自生自储自盖组合、下生上储上盖组合和上生下储上盖组合,上渐新统一中中新统,可能发育自生自储自盖组合和下生上储上盖组合,上中新统以后,可能发育下生上储上盖组合。

参考文献 (References)

- [1] 朱伟林, 张功成, 钟锺, 等. 中国南海油气资源前景[J]. 中国工程科学, 2010, 12(5): 46-50. [ZHU Weilin, ZHANG Gongcheng, ZHONG Kai, et al. South China Sea: Oil and gas outlook [J]. Engineering Sciences, 2010, 12(5): 46-50.]
- [2] 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.]
- [3] 陈建文, 梁杰, 张银国, 等. 中国海域油气资源潜力分析与黄东海海域油气资源调查进展[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 39(6): 1-29. [CHEN Jianwen, LIANG Jie, ZHANG Yinguo, et al. Regional evaluation of oil and gas resources in offshore China and exploration of marine Paleo-Mesozoic oil and gas in the Yellow Sea and East China Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2019, 39(6): 1-29.]
- [4] 谢玉洪. 中国海油近海油气勘探实践与思考[J]. 中国海上油气, 2020, 32(2): 1-13. [XIE Yuhong. Practices and thoughts of CNOOC offshore oil and gas exploration [J]. China Offshore Oil and Gas, 2020, 32(2): 1-13.]
- [5] 刘振湖, 郭丽华. 北康盆地沉降作用与构造运动[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(2): 51-57. [LIU Zhenhu, GUO Lihua. Subsidence and tectonic evolution of the Beikang Basin, the South China sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2003, 23(2): 51-57.]
- [6] 徐行, 姚永坚, 王立非. 南海南部海域南薇西盆地新生代沉积特征[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(3): 170-175. [XU Xing, YAO Yongjian, WANG Lifei. Cenozoic sedimentation of Nanweixi basin, the Southern South China Sea [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2003, 17(3): 170-175.]
- [7] 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.]
- [8] 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.]
- [9] 彭学超, 郭依群, 陈玲, 等. 南沙中部海域诸盆地地震地层分析[J]. 石油物探, 2003, 42(4): 486-492. [PENG Xuechao, GUO Yiqun, CHEN Ling, et al. Seismic stratigraphic analysis of basins Nanweixi and Nanweidong in middle Nansha, South China Sea [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2003, 42(4): 486-492.]
- [10] 冯旭亮, 刘斌. 南薇西盆地重磁场特征及油气资源远景[J]. 地质力学学报, 2019, 25(1): 105-114. [FENG Xuliang, LIU Bin. Gravity and magnetic field characteristics and hydrocarbon prospects of the Nanweixi basin [J]. Journal of Geomechanics, 2019, 25(1): 105-114.]
- [11] 吴冬, 朱筱敏, 朱世发, 等. 南沙万安盆地新生界层序特征和主控因素[J]. 岩性油气藏, 2015, 27(2): 46-54. [WU Dong, ZHU Xiaomin, ZHU Shifa, et al. Characteristics and main controlling factors of Cenozoic sequence stratigraphy in Wan'an Basin, Nansha Islands [J]. Lithologic Reservoirs, 2015, 27(2): 46-54.]
- [12] 姚永坚, 杨楚鹏, 李学杰, 等. 南海南部海域中中新世(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.]
- [13] 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.]
- [14] Northrup C J, Royden L H, Burchfiel B C. Motion of the Pacific plate relative to Eurasia and its potential relation to Cenozoic extension along the eastern margin of Eurasia [J]. *Geology*, 1995, 23(5): 719-722.
- [15] 金庆煊, 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 geologic tectonics of the Nansha Sea Area [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2000, 20(1): 1-8.]
- [16] 姚永坚, 姜玉坤, 曾祥辉. 南沙海域新生代构造运动特征[J]. 中国海上油气(地质), 2002, 16(2): 113-117, 124. [YAO Yongjian, JIANG Yukun, ZENG Xianghui. Cenozoic tectonic movements in Nansha Area, South China Sea [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2002, 16(2): 113-117, 124.]
- [17] Packham G H. Plate tectonics and the development of sedimentary basins of the dextral regime in Western Southeast Asia [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1993, 8(1-4): 497-511.
- [18] 姚伯初, 曾维军, Hayes D E. 中美合作调研南海地质专报[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994. [YAO Bochu, ZENG Weijun, Hayes D E. The Geological Memoir of South China Sea Surveyed Jointly by China & USA[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1994.]
- [19] Hutchison C S. The 'Rajang accretionary prism' and 'Lupar Line' problem of Borneo [J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 1996, 106(1): 247-261.
- [20] Briais A, Patriat P, Tapponnier P. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: Implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia [J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 1993, 98(B4): 6299-6328.
- [21] Taylor B, Hayes D E. The tectonic evolution of the South China Basin[M]//Hayes D E. The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands. Washington DC: American Geophysical Union, 1980: 23.
- [22] LI Chunfeng, Xu Xing, Lin Jian, et al. Ages and magnetic structures of the South China Sea constrained by deep tow magnetic surveys and IODP Expedition 349 [J]. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2014, 15(12): 4958-4983.
- [23] 李家彪, 丁巍伟, 吴自银, 等. 南海西南海盆的渐进式扩张[J]. 科学通报, 2012, 57(24): 3182-3191. [LI Jiabiao, DING Weiwei, WU Ziyin, et al. The propagation of seafloor spreading in the Southwestern subbasin, South China Sea [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 57(24): 3182-3191.]
- [24] 王龙樟, 姚永坚, 张莉, 等. 中中新世以来南海南部前隆的迁移: 来自北康盆地的证据[J]. 石油与天然气地质, 2019, 40(1): 123-132. [WANG Longzhang, YAO Yongjian, ZHANG Li, et al. Forebulge migration since the Mid-Miocene in the Southern South China Sea: evidences from the Beikang Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2019, 40(1): 123-132.]
- [25] Madon M, Kim C L, Wong R. The structure and stratigraphy of deepwater Sarawak, Malaysia: Implications for tectonic evolution [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 76: 312-333.
- [26] 吴进民, 杨木壮. 南海西南部地震层序的时代分析[J]. 南海地质研究, 1994(6): 16-29. [WU Jinmin, YANG Muzhuang. Age analysis of seismic sequences in the Southwestern South China Sea [J]. *Geological Research of South China Sea*, 1994(6): 16-29.]
- [27] 姚伯初, 万玲, 刘振湖, 等. 南海南部海域新生代万安运动的构造意义及其油气资源效应[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(1): 69-77. [YAO Bochu, WAN Ling, LIU Zhenhu, et al. Tectonic significance and its petroleum effect of the Wan'an tectonic movement in the South of the South China Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2004, 24(1): 69-77.]
- [28] 王嘹亮, 吴能友, 周祖翼, 等. 南海西南部北康盆地新生代沉积演化史[J]. 中国地质, 2002, 29(1): 96-102. [WANG Liaoliang, WU Nengyou, ZHOU Zuyi, et al. History of the Cenozoic sedimentary evolution of the Beikang Basin, Southwestern South China Sea [J]. *Geology in China*, 2002, 29(1): 96-102.]
- [29] Haq B U, Hardenbol J, Vail P R. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic [J]. *Science*, 1987, 235(4793): 1156-1167.
- [30] 杨木壮, 吴进民. 南海南部新生代构造应力场特征与构造演化[J]. 热带海洋, 1996, 15(2): 45-52. [YANG Muzhuang, WU Jinmin. Tectonic stress field and tectonic evolution in the South of South China Sea [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 1996, 15(2): 45-52.]
- [31] 杨木壮, 吴进民, 杨锐, 等. 南沙海域西南部地层划分及命名[J]. 南海地质研究, 1996: 37-47. [YANG Muzhuang, WU Jinmin, YANG Rui, et al. Stratigraphic division and nomenclature of the Southwestern Nansha Sea Area [J]. *Geological Research of South China Sea*, 1996: 37-47.]
- [32] 孙珍, 赵中贤, 李家彪, 等. 南沙地块内破裂不整合与碰撞不整合的构造分析[J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 3196-3209. [SUN Zhen, ZHAO Zhongxian, LI Jiabiao, et al. Tectonic analysis of the breakup and collision unconformities in the Nansha [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2011, 54(12): 3196-3209.]
- [33] 万玲, 吴能友, 姚伯初, 等. 南沙海域新生代构造运动特征及成因探讨[J]. 南海地质研究, 2003: 8-16. [WAN Ling, WU Nengyou, YAO Bochu, et al. Cenozoic Tectonic Movement and the Genetic Discussion in Nansha Sea Area [J]. *Research of Geological South China Sea*, 2003: 8-16.]
- [34] Khy L V. The structure of the Mekong trough [J]. *International Geology Review*, 1986, 28(1): 87-95.
- [35] Bo N Q, Nguyen D H, Tran Q H, et al. Tu Chinh Bank Area in structural plan of South East Vietnam continental shelf[C]//Conference on Vietnam oil and Gas Industry, 20 Year Development and Prospects. Vietnam: Nguyen, 1997: 127-145.