

帅庆伟, 张 莉, 雷振宇, 等. 北康盆地主要地质界面时代确定及油气地质意义[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(10): 32-41.

北康盆地主要地质界面时代确定及油气地质意义

帅庆伟^{1,2}, 张 莉^{1,2}, 雷振宇^{1,2*}, 骆帅兵^{1,2}, 钱 星^{1,2}, 刘建平^{1,2}, 周佳维^{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: 基于高分辨率二维地震资料, 结合区域构造背景, 开展了南海西南部北康盆地主要不整合界面及特征识别、年代重新厘定以及油气地质意义分析等工作。研究表明, 北康盆地新生代发育 6 个区域性不整合界面, 分别对应于礼乐运动、西卫运动、南海运动、南沙运动、万安运动和广雅运动。其中, T_3 不整合是后南海扩张期的分界, 对应于南沙运动及南海西南次海盆的扩张终止。Mulu-1 井井震对比显示, T_3 对应于中中新世不整合面 (MMU), 时代为 16 Ma。该界面总体表现为强振幅、下部地层强烈削蚀、界面起伏大, 上下地层结构、产状、地震反射特征发生突变, 是构造变形前后两大套地层的分界面, 对局部圈闭形成及油气成藏具有重要意义。

关键词: 地质界面; 构造运动; 油气地质; 北康盆地; 南海西南部

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.078

0 引言

南海位于欧亚板块、太平洋板块和印澳板块交汇处, 新生代以来受到三大板块之间碰撞、俯冲的综合影响, 经历了古南海俯冲消减和新南海多期扩张的演化过程, 形成了北缘拉张、南缘挤压、西缘剪切和东缘碰撞消减的复杂动力学环境, 是研究大陆张、剪、压破裂过程及其驱动力的“地球上最好的天然实验室”^[1-4]。南海海域油气资源非常丰富, 是世界四大海洋油气聚集中心之一, 具有“第二波斯湾”之称^[5]。南海大陆边缘盆地不同区域油气勘探及研究程度差异较大, 油气资源潜力亦明显不同。南海西南部北康盆地油气勘探及研究程度较低, 且处在深水区, 其油气资源潜力及勘探前景尚不甚清楚, 是值得进一步深入研究的深水油气勘探新区和薄弱区。目前, 深水油气勘探属于世界油气勘探的

前沿和热点, 亦是全球油气储量重要增长点之一^[6]。

北康盆地是南海西南部重要的大型新生代深水含油气盆地, 盆地面积约 6 万 km^2 , 新生代沉积地层在盆地内广泛分布, 地层厚度变化较大, 最厚处超过 12 km。国外在该区域已有油气发现, 据相关评价预测结果, 盆地油气资源潜力巨大^[7-8]。盆地水深 100~2 000 m, 属于深水盆地。盆地大地构造位置属于南沙块体的西南边缘^[9], 其北面与南薇西、南薇东盆地相邻, 东部以南沙海槽西北缘断裂为界, 西南以廷贾断裂为界与曾母盆地分开(图 1)。

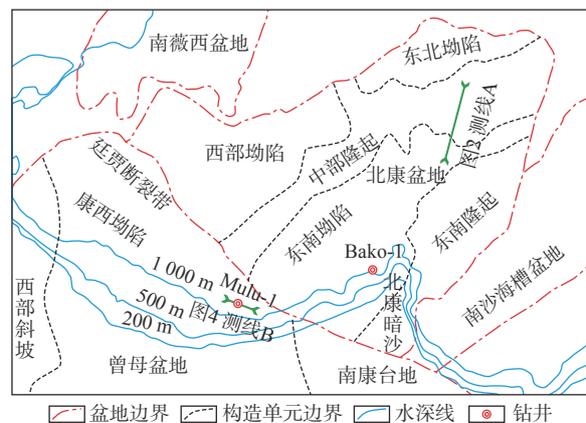


图 1 南海西南部北康盆地 (研究区) 位置图

Fig.1 Location of the Beikang Basin, the southwestern of the South China Sea

收稿日期: 2020-06-09

资助项目: 中国地质调查局项目“南海 X 油气资源调查”(DD20190213)

作者简介: 帅庆伟(1984—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事海域油气资源调查研究和项目管理相关工作。E-mail: shuaiqw1984@163.com

* 通讯作者: 雷振宇(1983—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事海域油气成藏与资源评价工作。E-mail: 44231234@qq.com

前人对于北康盆地形成演化、构造特征、油气成藏、地层特征及物源供给变化等方面均开展了广泛研究^[7-11],而针对盆地新生界地质界面的年代确定这种基础性且影响其他研究的至关重要的问题,迄今为止尚涉及甚少。众所周知,对于高勘探及高研究程度地区,主要地质界面时代的判识确定,通常根据钻井揭示的孢粉、浮游生物等古生物资料、测井资料和地震资料,结合地质综合分析来确定地层及不整合界面的时代;然而,对于低勘探及低研究程度地区,其地质界面时代的确定则主要依据区域构造运动、地震资料及邻区钻井资料等进行初步判识厘定。北康盆地属于低勘探及低研究程度区域,本文主要依据地震资料,结合区域地质背景及构造演化的动力学条件,综合分析确定地质界面的时代,并深入剖析其地质地球物理特征及其油气地质意义。

1 研究现状

我国在北康盆地尚未钻井,缺乏盆地内钻井资料控制,基于地震、重磁等物理资料以及邻区收集的钻井资料,开展盆地地层层序的划分及不整合面年代厘定具有一定的不确定性。国外在盆地及附近区域虽有钻井,但针对北康地层层序划分研究较少,对于盆地不整合界面年代及其与地质事件之间的关系鲜有研究。层序地层学理论表明,区域构造运动、海平面升降变化、沉积物供给速率以及古气候是层序地层发育的主控因素^[12]。盆地沉积物供给率及古气候变化缺乏充足的地质资料和有效的研究方法,一般主要考虑构造运动及海平面升降变化这些区域地质事件对地层发育的影响。区域地质事件往往与地震剖面上不整合界面对应,可以作为不整合面划分及其年代确定的重要依据。据此,在北康盆地国内无钻井的情况下,本文以北康盆地为研究对象,通过地震资料综合解释,根据区域地质事件的年代初步确定不整合面的年代,结合收集的国外钻井资料,将钻井资料数字化,开展井震标定,进一步厘定北康盆地主要不整合界面形成时间,对理清区域盆地构造演化过程,认识区域层序地层分布特征具有重要意义,为区域油气资源勘探奠定基础。

前人在层序地层研究中,对于盆地地层划分主

要存在 2 种划分方案,分别以沉积旋回系统和不整合面特征作为划分依据^[13-14]。我国学者在北康盆地地层层序划分时,主要以不整合面为依据。吴进民和杨木壮^[15-16]基于地震剖面不整合面特征,将万安盆地钻井标定的不整合面向东顺延至北康盆地,对北康盆地地层进行了划分,不整合界面时代沿用了万安盆地的划分方案,主要调整是将 T₄ 界面由万安盆地的渐新世末期调整到早、晚渐新世之间。此后对于北康盆地地层划分基本延续了这种方案或仅对个别界面进行调整,变化较少。姚永坚等^[14]根据收集到的北康盆地区域内的 2 口钻井(Bako-1 和 Mulu-1 井)重新厘定了 T₃ 界面的时间及其地质属性,认为该不整合面时代为 16 Ma,是南海海底扩张停止的一个构造响应界面,在南沙海域表现为南沙运动。国外学者对北康盆地及其邻区进行地层层序划分的依据包括沉积旋回和不整合面。东盟石油委员会(ASCOPE)的学者根据地震和钻井揭示的不整合面,结合化石带、岩性特征,在东纳土纳区(曾母盆地西部斜坡)、南康台地和巴林坚地区自下而上划出 7 个地震层序^[17];此后,Almond等^[18]结合巴林坚地区研究成果,将 ASCOPE 划分的地震层序与 Ho^[19]的沉积旋回进行对比,重新命名了一套旋回名称进行地层划分。Mat-Zin 等^[20]在曾母盆地以不整合面为主要依据,综合考虑海退、岩性、古生物、测井曲线等资料划分出 7 个层序。Abdul 等^[21]根据沙捞越深水(北康盆地南部)的钻井和地震资料,根据不整合面划分出 9 个层序。综合前人在北康盆地的地质界面认识及地层划分方案可知,国内外不同学者之间的观点存在差异,对北康盆地的地质界面及地层发育情况缺乏系统的梳理,制约了北康盆地后续的油气调查及精细研究工作。

2 重要界面的地震-地质厘定

本文以通过北康盆地东北部地震剖面为研究的骨干剖面,其为广州海洋地质调查局采集的高品质二维地震资料。在此基础上,结合区域钻井资料(国外文献公布的 Mulu-1 和 Bako-1 井)^[22]、区域构造地质事件以及前人工作成果,开展地震资料的地质综合解释(图 2)。根据地震反射的终止现象及相关特征,在全区系统识别追踪了 T₁、T₂、T₃、T₄、T₅ 和 T_g 共 6 个关键地质界面。同时,利用区域地质

事件对不整合面的约束,初步判识厘定了不整合面的大致年代。其界面年代及地层划分如表 1 所示。

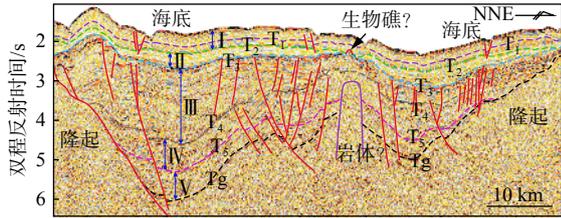


图 2 北康盆地主要地震不整合面(剖面位置见图 1 所示)
Fig.2 Major unconformity interfaces in the Beikang Basin

表 1 北康盆地地震反射界面和层序划分表

Table 1 Seismic reflection interfaces and sequence division in the Beikang Basin

系	统	地层	反射界面	年代 /Ma	地震层序	区域构造运动
第四系						
新近系	上新统	上	T ₁	5.3	I	广雅运动
		下				
	中新统	上	T ₂	10.5	II	万安运动
中						
下						
古近系	渐新统	上	T ₃	16.0	III	南沙运动
		下				
	始新统	T ₄	32.0	IV	南海运动	
古新统	T ₅	40.4	V	西卫运动		
前新生界	Tg	58.7			礼乐运动	

另外,通过收集的国外在北康盆地钻井(Mulu-1 井)图片资料(图 3)进行数字化转换,将 Mulu-1 井与国内过井测线(图 4)进行井震对比,追踪对比确认 Mulu-1 井钻遇的中中新世不整合面与过井地震剖面追踪确定的中中新世不整合面是否一致,进而进一步厘定不整合面时代。

2.1 关键井测井曲线类型判别及数据化转换

图 3 中有 4 条未命名的测井曲线,对测井曲线特征进行分析确定曲线类别。井身左侧有 2 条变化趋势相近的曲线,识别为电阻率曲线。本区为海相,沉积具有泥包砂特征,而声波在砂岩中的速度

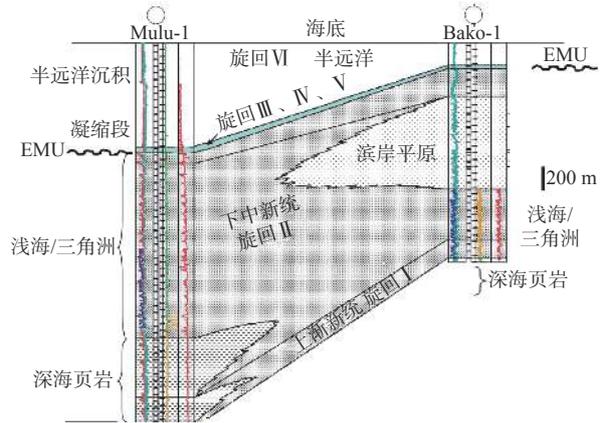


图 3 过 Mulu-1 和 Bako-1 井连井剖面图
Fig.3 Correlation between Mulu-1 and Bako-1 wells

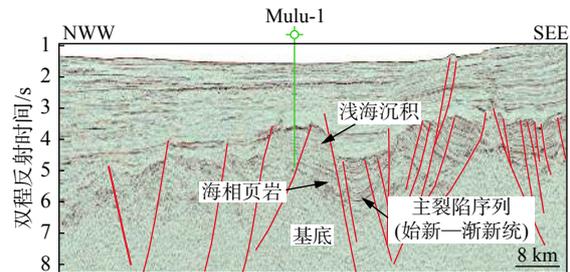


图 4 Mulu-1 过井地震剖面图(井位及剖面位置见图 1)
Fig.4 Seismic profile across the Mulu-1 well (see Fig.1 for the location of well and profile)

要比泥岩的速度高,泥质含量越高,沉积岩放射性越强,据此判断出井身右侧红色曲线为自然伽马曲线,绿色曲线为声波时差曲线。拾取图中的测井曲线,结合井深比例尺确定曲线纵坐标,根据行业默认的测井曲线数值范围确定横坐标,曲线数字化转换如图 5。

2.2 地震层速度与声波测井速度对比

测线 B 为广州海洋地质调查局获得的 1 条过 Mulu-1 井的地震测线。应用测线 B 的层析速度建立时深表,确定地震剖面上追踪识别的 T₃ 不整合面的位置。为确定层析速度的准确性,提取其速度与数字化测井曲线进行对比(图 6)。对比显示层析速度与声波测井曲线在 T₃ 界面上下具有一致的速度。对比结果亦可表明利用测线 B 地震资料获得的结果与国外文献测井资料显示的结果具有一致性,因而两者具有可对比性。

2.3 T₃ 不整合界面井-震厘定

应用测线 B 的层析速度建立时深表,地震

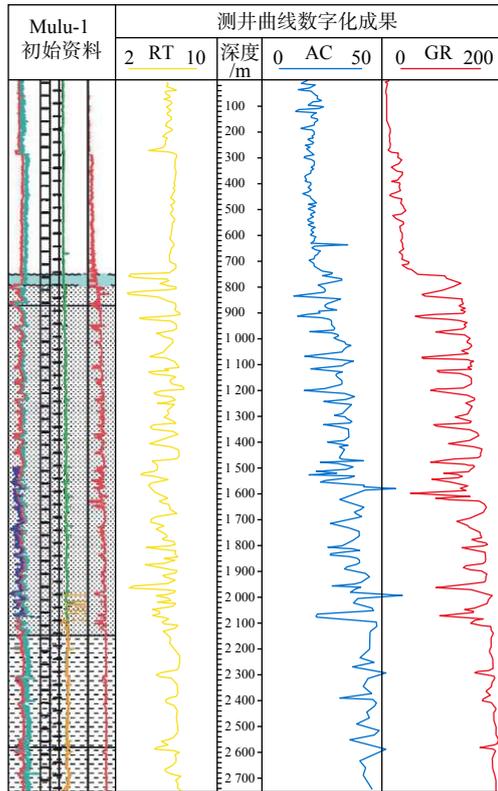


图 5 Mulu-1 测井曲线数字化转换

Fig.5 Digital conversion of Mulu-1 logging curve

3 530 ms 处存在一个速度突变面, 对应于地震剖面上识别的 T_3 界面, 深度为 3 125 m。文献指出 Mulu-1 井钻遇一个大的不整合面, 该不整合界面于旋回 II 和旋回 III 之间, 时代为 16 Ma 对应的中中新世不整合面(EMU)。通过比例尺可计算不整合面之下两段分别为 1 400 m 和 650 m。根据地震剖面图, 可以计算 Mulu-1 井水深为 1 170 m, 而根据文献资料 Mulu-1 井的井深是 5 185 m, 由此可计算 Mulu-1 井钻遇 T_3 不整合面深度, 其深度与根据测线 B 确定的深度一致, 说明标定结果可靠, 深度合理(图 7)。

3 主要界面的区域构造及油气意义

北康盆地自形成至今, 随南沙地块经历了从华南陆块裂离、漂移再与曾母地块拼接的发展历程。地层发育受到南海多期扩张、区域构造运动和全球海平面剧烈下降的综合影响, 这些地质事件以不整合面在地震剖面上响应。利用地震资料综合解释识别了 6 个不整合面, 通过区域地质事件的时间初步限定不整合面的年代, 利用井震标定结果进一步厘定了不整合面发育年代。

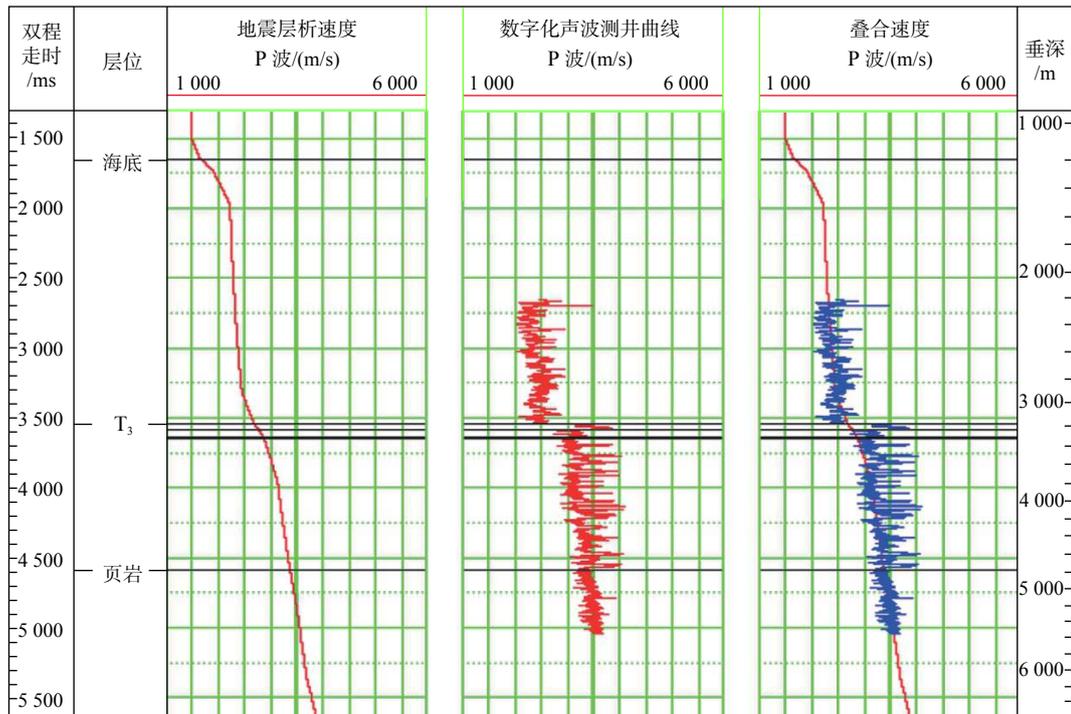
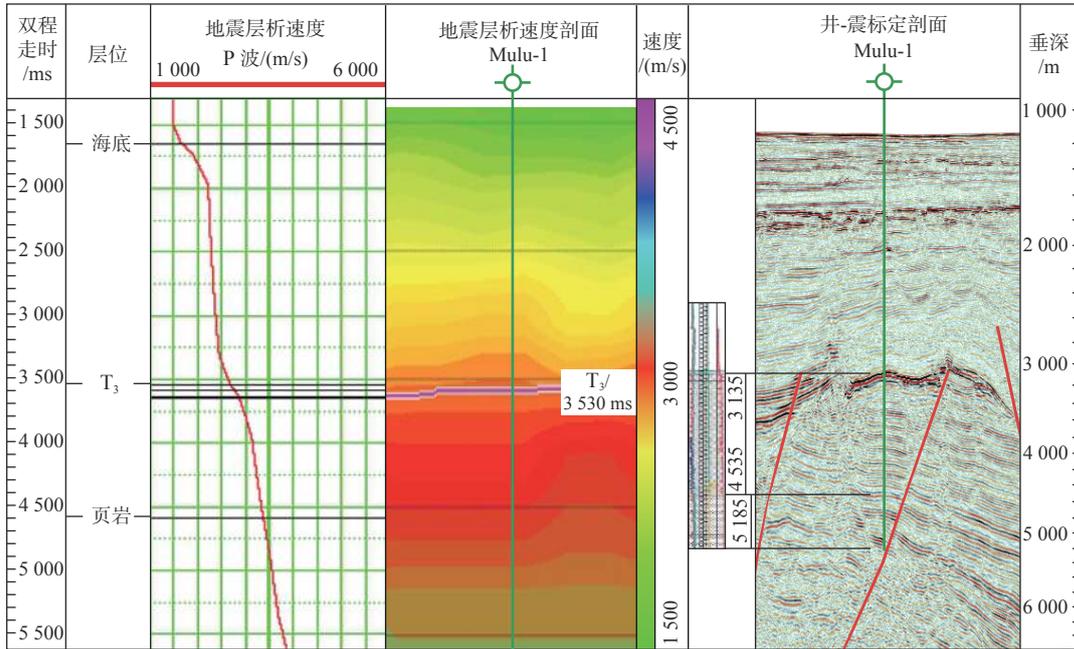


图 6 地震层速度与声波测井曲线对比

Fig.6 Comparison between seismic interval velocity and acoustic logging curve

图7 T₃界面井震对比Fig.7 Comparison between well and seismic profile around T₃ seismic interface

3.1 T_g地震反射界面

该界面时代为中生代末期(58.7 Ma), 对应于礼乐运动。白垩纪末—早始新世期间(68.5~53.0 Ma), 太平洋板块相对欧亚板块运动的运动方向由原来的NWW向变为向北运动, 同时运动速率大幅下降, 造成晚白垩世之后欧亚大陆东缘及东南缘区域构造应力场以拉张作用为主, 形成了一系列NE向张性初始裂隙^[23-24]。国外在礼乐盆地 sampagita-1井和A-1井均钻遇下白垩统, 缺失上白垩统, 古新统则直接覆于其上, 钻井揭示的造成该期不整合面的构造运动被命名为礼乐运动, 时代定为中生代末期(58.7 Ma)^[25], 此次运动在南海北部亦有响应, 对应神狐运动。

礼乐运动导致大陆开始解体, 形成一系列NE向地堑、半地堑构造为北康盆地的形成奠定了基础, 盆地接受陆相-海陆过渡相充填沉积, 发育一系列小型沉积中心, 形成北康盆地的雏形。盆地进入初始裂离、断陷阶段, 该时期岩浆活动强烈, 一些中酸性火成岩体隐伏在沉积基岩中。礼乐运动形成的破裂不整合界面为盆地新生界基底T_g。T_g界面在地震剖面上响应中—低频、强振幅、中连续—断续反射。在古隆起高部位, 一般为强振幅、中连续—断续反射; 在斜坡区为强振幅、连续反射, 界面上部为

平行结构反射层组, 下部为杂乱反射层组; 在埋深较大的拗陷区因反射能量变弱, 多呈中—弱振幅、断续反射, 不易追踪识别。北康盆地大部分地区T_g界面反射特征并不明显, 在盆地东部及北部断陷斜坡及隆起高部位可见其清晰界面特征。该界面是一个重大构造转换面, 界面之下为杂乱反射, 代表盆地基底, 之上层状反射结构清晰, 为沉积地层响应。

3.2 T₅地震反射界面

该界面时代为中始新世与晚始新世之间(40.4 Ma), 对应西卫运动。该运动前后是东南亚地区新生代一次重要的板块运动调整和重组时期。44~43 Ma期间, 印度板块与欧亚大陆发生正面碰撞, 中南半岛向东南挤出; 库拉板块沿NW向俯冲于东亚大陆之下; 印度洋开始第3次扩张, 印度-澳大利亚板块快速向北向东南亚大陆俯冲。在此基础上, 拉伸作用进一步加强, 南海中西沙地区地壳强烈减薄, 南沙块体从华南大陆边缘裂离, 并向东南方向漂移。与此同时, 苏拉威西海扩张并将苏禄块体向北推挤, 在二者之间的南沙地区处于南北挤压的构造环境, 并产生区域抬升, 形成区域不整合^[24, 26]。礼乐 sampagita-1井证实中始新统与上始新统之间(40.4 Ma)存在不整合面, 这次运动被命名为西卫运动。此次

运动在南海北部有所显示,对应珠琼运动二幕。

西卫运动使南沙地块断裂作用加剧,北康盆地裂陷期开始,盆地进一步裂解和发展,盆地的隆、拗构造格局得到进一步加强,并伴随着与断裂同生或沿断裂侵位的中酸性及中基性的岩浆活动。地层抬升导致早期沉积的地层普遍遭受剥蚀,形成了盆地的另一不整合界面 T_5 。 T_5 界面主要为弱振幅、低连续反射波组,亚平行结构,席状外形。界面之上为低频、弱振幅、亚平行反射特征,界面之下一般为低连续或杂乱反射地震相,具有发散状特征。西卫运动之后盆地开始接受海相沉积,盆地发育张性断块、断背斜等构造圈团,进入圈闭初始发育期。

3.3 T_4 地震反射界面

该界面时代为早渐新世和晚渐新世之间(32 Ma),该界面是受渐新世全球海平面剧烈下降与南海运动综合影响形成的。Haq 等^[27] 根据全球各地区海洋沉积岩石露头、生物化石、地震资料、测井资料等数据基于层序地层学和沉积学原理综合分析了全球海平面升降变化,绘制了全球海平面变化曲线(图 8)。研究显示新生代以来全球发生 2 次大的海平面剧烈下降,分别在早、晚渐新世之间(32 Ma)和中、晚中新世之间(10.5 Ma)。

前人根据磁条带异常确定了南海北部、东部和

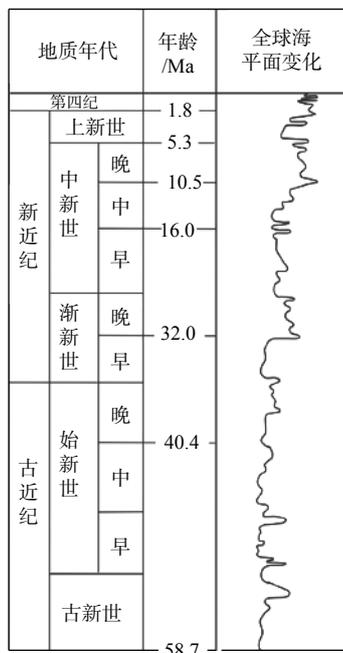


图 8 全球海平面变化图

Fig.8 The change of global sea level

西南 3 个次级海盆(如图 1)扩张的年代。前人在南海西北次海盆识别出 EW 向磁异常条带,但因资料不足并未识别出其年代。Hsu 等^[28] 通过船拖磁测资料在南海东北缘台湾附近识别出磁异常条带 C17,表明南海在晚始新世(约 37 Ma)已经出现洋壳。南海沿着马尼拉海沟俯冲,是否有更老的洋壳被俯冲消减不能确定。东部次海盆和西南次海盆扩张磁条带识别争论较少。Taylor 等^[29] 在南海东部次海盆识别出 5d-11 号 EW 向磁异常条带,其时间为晚渐新世—早中新世(32~17 Ma)期间;在西南次海盆识别出 6b-5c 号 NE—SW 向磁异常条带,其时间为早中新世—中中新世(23~16 Ma)。Briaies 等^[30] 认为南海在晚渐新世(32~25 Ma)发生第 1 次海底扩张,形成东部次海盆洋壳;在早中新世—中中新世(24~16 Ma)发生第 2 次海底扩张,形成西南次海盆洋壳同时东部次海盆继续扩张。两次扩张之间(25~23 Ma)发生了扩张轴走向由 EW 向转为 NE—SW 向的跳跃。Taylor 等^[29] 和 Briaies 等^[30] 对于南海东部、西南次海盆扩张的年代认识比较一致,IODP349 航次在古扩张脊的钻探结果显示,东部次海盆和西南次海盆在约 15 Ma 和 16 Ma 时几乎同时停止扩张,这也支持了他们的解释^[31]。南海扩张过程如图 9 所示,可以确定 32 Ma 南海东部次海盆沿 EW 方向扩张,16 Ma 停止扩张。东部次海盆扩张在北康盆地形成区域不整合面,何廉声等^[32] 1979 年将该运动命名为南海运动。礼乐滩 sampagita-1 井钻遇上渐新统一第四系灰岩,不整合覆于下渐新统碎屑岩之上,钻井解释为早、晚渐新世分界(32 Ma)。

早、晚渐新世之间,受全球海平面急剧下降和南海运动的综合影响,北康盆地早期沉积地层抬升遭受剥蚀夷平,形成不整合面 T_4 ,该不整合面在南沙区域可以全区追踪对比。 T_4 界面多表现为中频、较连续的强反射,产状大体与 T_5 界面平行,界面之上地层反射连续性好、中频、中振幅,界面之下为中连续、低频、中—弱振幅,界面上下地震反射的连续性好坏差别是判别 T_4 界面的依据之一。南海运动使盆地由断陷向断拗转化,盆地断拗作用进一步扩展,沉积了滨-浅海-半深海相砂泥岩地层。

3.4 T_3 地震反射界面

该界面时代为早中新世和中中新世之间(16 Ma),是全区特征最为明显的不整合界面,响应于南沙运

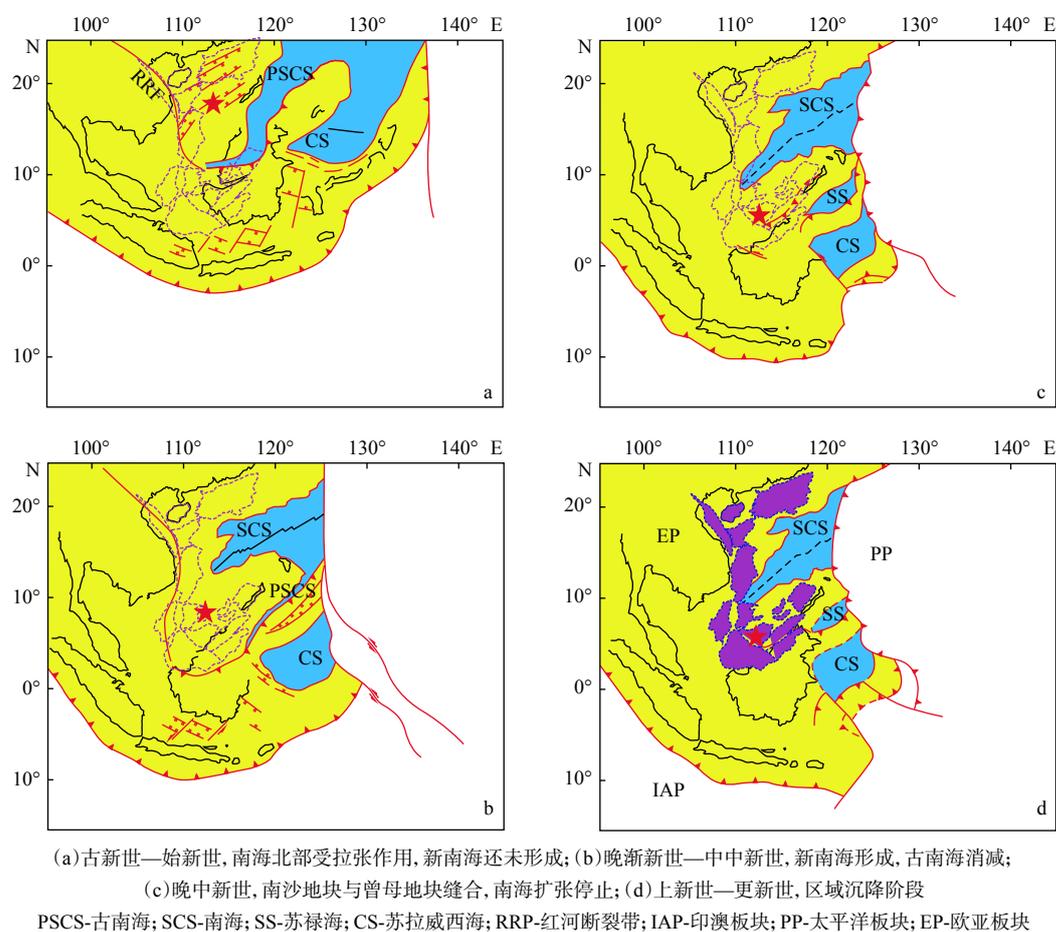


图9 南海扩张过程示意图

Fig.9 The schematic figures showing the spreading history of the South China Sea

动,为南沙地块与婆罗洲地块碰撞作用的结果。早中新世末—中中新世早期(17~15 Ma),随着古南海持续向南俯冲,南沙地块于与婆罗洲地块发生碰撞,导致南海海底扩张作用停止,南海固定在现今位置。此次运动是南沙海域构造运动最强、波及范围最广、影响程度最大的一次构造运动,具有区域性,因此,将这次构造运动命名为南沙运动。马来西亚石油公司在我国北康盆地南部的2口钻井——Bako-1和Mulu-1井钻遇了该不整合面,国外称之为中中新世不整合面(Middle Miocene Unconformity,简称MMU)。2口井的古微生物资料揭示,EMU不整合面时间为16 Ma^[22]。

南沙运动使南沙地块向南俯冲于沙巴地块之下,而曾母地块则向NW方向移动,造成区内北康盆地的挤压抬升,形成了T₃不整合界面。该界面以中—强振幅、高连续地震反射为特征,表现为强烈削蚀、起伏大,同相轴粗糙、扭曲,界面不整合特

征非常突出。在隆起和坳陷内普遍表现为强烈的削截,上、下反射层以角度不整合接触,界面上下地层结构、产状、地震相特征发生突变,是变形前后两大套地层的分界面。下部地层存在不同程度变形,发生强烈褶皱、错断、掀斜及岩浆侵入,上部地层连续性较好,呈水平状披覆,在凹陷处上超现象清晰,地层未变形或轻微变形,局部有泥底辟和丘状相的生物礁发育。

3.5 T₂地震反射界面

该界面时代为中中新世和晚中新世之间(10.5 Ma),受万安运动和新生代全球第2次海平面剧烈下降(图3)综合影响形成。吴进民^[33]在研究万安盆地地层时首次提出万安运动,根据国外钻井揭示的中中新世—晚中新世(10.5 Ma)存在一区域不整合面推测,这是一次比较强烈的区域构造运动。此次运动在南沙地区被命名为万安运动,在南海北

部对应东沙运动。对于“万安运动”的构造起因仍存在不同看法,很多人认为是万安断裂走滑活动造成的,但万安断裂位于南沙西部海域,其走滑活动难以影响整个南沙海域。姚伯初等^[34]认为,在 13~10 Ma 期间,由于菲律宾海板块、澳大利亚板块和欧亚板块的相互作用,对南海南部海域产生过多次挤压。这 3 次时间间隔很短的碰撞事件对南沙地块都产生了强烈影响,产生了新生代沉积中的晚中新世区域不整合面。

T₂ 界面在南海南部地区广泛分布,界面平直、稳定、连续性好,受断层活动影响较小,在全区能可靠追踪对比。北康盆地 T₂ 界面表现为中—高频、中振幅、强连续反射,表现为一套稳定沉积体系,深水体系沉积特征明显。界面之上地层反射特征为中频、连续、强振幅反射,界面之下地层反射特征为中—低频、较连续,中—强振幅反射,界面上下反射层发生轻微变形或未变形,往往表现为上超尖灭,偶有削截。这一时期盆地内断裂、岩浆活动及构造圈闭发育的鼎盛,发育的圈闭类型主要为背斜、半背斜、压扭断块、刺穿背斜等构造圈闭以及不整合和岩性圈闭。

3.6 T₁ 地震反射界面

该界面为中新世和上新世的分界面(5.3 Ma),对应于广雅运动。有关广雅运动成因的公开发表文献较少。吴进民^[33]认为广雅运动是万安运动的余波,在区域形成明显不整合面,多口钻井揭示该时间为上新统底界,时间为 5.3 Ma。广州海洋地质调查局王嘹亮等^[8]在开展南沙海域盆地油气资源调查研究时认为,5.5 Ma 时,斑-苏禄地块和巽他地块发生碰撞;5 Ma 时,菲律宾弧和巴拉望地块的碰撞以及随后的台湾岛弧-陆碰撞。这 2 次碰撞事件在南海新生代沉积中产生中新世和上新世之间的不整合,其中挤压作用大多仅限于南海东部边缘盆地。

T₁ 界面全区较为连续,其反射特征与 T₂ 界面相似,界面平直、稳定、连续性好,均能较为可靠地追踪。表现为中—高频、中振幅、连续性较好的反射特征。这一时期,区域应力场逐渐进入平静松弛状态,盆地进入区域性沉降阶段,盆地断裂活动明显减弱,大部分断裂已停止活动,仅有少数断裂一直活动至第四纪。圈闭发育进入定型期,以披覆背

斜、岩性圈闭及地层圈闭为主。

3.7 主要界面的油气意义

新生代北康盆地在演化过程中形成了 6 个重要的区域不整合界面,每个界面对应着不同的构造事件,并导致了沉积环境的相应变化,因此,发育了不同类型的烃源岩、储层、盖层,并赋予了其不同的油气地质意义。

T_g 反射界面是新生代北康盆地的基底,其下为前新生界基底,其对应的构造事件在南海南部及北部分别为礼乐运动及神狐运动。由于长时间暴露,在该界面之下基底岩石遭受长期风化破裂,易于发育潜山裂缝型油气藏,近年在南海北部珠江口盆地基底之下已有相关的钻井油气发现。

以 T₅ 界面为界,其下部 T_g—T₅ 地震层序为一套陆相断陷湖盆沉积,代表了南海扩张前的陆内裂谷沉积;其上 T₅—T₄ 地震层序由于西南次海盆的打开,研究区逐渐过渡为海陆过渡环境。T_g—T₅ 物源以盆地周缘或盆内局部隆起供源为主,在各次级凹陷边缘发育粗粒碎屑沉积,凹陷中心发育湖相泥岩,由于埋藏较深(大部分地区 >3 000 m),大部分地区已达到生油门限。粗粒扇及三角洲砂岩与湖相烃源岩的指状互层,以及三角洲平原泥岩构成了较好的生、储、盖配置组合,此外,湖相烃源岩生成的油气还可以向下部裂缝储集体运移,形成上生下储配置关系。

T₄ 反射界面代表了海陆过渡环境向海相环境的转变。其下部 T₅—T₄ 层序主要发育一套过渡环境三角洲及滨浅海沉积,其上部 T₄—T₃ 发育大型的海相三角洲-深水沉积体系。T₄ 界面之下过渡环境三角洲砂岩及滨浅海相砂岩是该层段理想的储层类型,后期地层抬升,位于盆地边缘的砂质相容易遭受剥蚀。T₄ 界面之上,由于距离陆架较远,三角洲主体并未推进到盆地中心,而主要以半深海重力流砂岩为主。总体来说,该界面之下以发育地层、岩性圈闭为主,而之上主要以岩性圈闭为主,被大套泥岩包裹,成藏条件优越。

T₃ 反射界面是研究区最重要的区域不整合界面,该界面削截特征明显,在全盆地范围可追踪对比,表明当时盆地主体暴露。其下部地层褶皱、掀斜强烈,上部地层以水平披覆状为主。T₃ 之后(晚中新世)盆地进入区域性的滨浅海环境,因此,在该

界面之上的上中新统(T_3 — T_2)在构造隆起或局部高点部位往往发育广泛的碳酸盐岩台地,形成良好的碳酸盐岩油气储层^[35]。后期经过进一步海侵,台地淹没,至 T_2 之后主要以发育广泛的半深海斜坡-深海平原泥岩为特征,局部发育深海砂质沉积,是区域性盖层发育的重要时期。

4 结论

(1)北康盆地地层发育受南海多期次扩张、全球海平面剧烈下降、区域构造运动的综合影响,这些地质事件在 seismic 剖面上具有明显响应,对应地震剖面上的不整合面。通过地质事件发生的年代以及 Mulu-1 井井震对比,重新厘定了地质界面的年代。 T_1 对应广雅运动,时代为 5.3 Ma; T_2 对应万安运动同时受全球海平面剧烈下降影响,时代为 10.5 Ma; T_3 对应南沙运动,时代为 16 Ma; T_4 对应南海运动,同时受全球海平面剧烈影响,时代为 32 Ma; T_5 对应西卫运动,时代为 40.4 Ma; T_g 对应礼乐运动,时代为 58.7 Ma。

(2)根据 Mulu-1 井井震对比结果,北康盆地通过地震资料识别的 T_3 不整合面与国外钻井揭示的中中新世不整合面(MMU)是同一界面,地质年代为 16 Ma。

(3)北康盆地地质界面具有重要区域构造意义。不整合面 T_g 为盆地的基底界面,对应礼乐运动形成了北康盆地的雏形。 T_3 界面对应西卫运动,西卫运动之后盆地逐渐接受海相沉积。西卫运动和南海运动(对应 T_4 界面)使盆地隆起结构加剧。 T_3 界面对应南沙运动,盆地位置确定至现今位置,盆地断层大多延伸至该界面停止。 T_2 界面(万安运动)之后盆地进入区域沉降阶段。

(4)北康盆地不同时期形成的地震界面也是主要的沉积环境转换面,具有不同的油气地质意义。基底 T_g 界面之下应成为潜山、裂缝油气藏的主要勘探目的层, T_g — T_5 应以断陷湖盆粗碎屑储集体为主要目标,而 T_5 — T_3 主要以海陆过渡相、滨浅海砂岩及海相三角洲砂岩为主要的勘探目标。值得注意的是, T_3 界面之上普遍发育的碳酸岩储层是该区重要的优质储层类型。 T_2 界面之上以区域性的盖层发育及岩性油气藏为主。

参考文献:

- [1] Barckhausen U, Engels M, Franke D, et al. Evolution of the South China Sea: revised ages for breakup and seafloor spreading[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2014, 58: 599-611.
- [2] 王星星,蔡峰,吴能友,等.南海东北陆坡新生代构造区带划分新认识[J]. *海洋地质前沿*, 2020, 36(2): 70-72.
- [3] 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.
- [4] 何家雄,李福元,王后金,等.南海北部大陆边缘深水盆地成因机制与油气资源效应[J]. *海洋地质前沿*, 2020, 36(3): 1-11.
- [5] 万玲,姚伯初,曾维军,等.南海岩石圈结构与油气资源分布[J]. *中国地质*, 2006, 33(4): 874-884.
- [6] 张功成,屈红军,张凤康,等.全球深水油气重大新发现及启示[J]. *石油学报*, 2019, 40(1): 1-34.
- [7] 张莉,王嘹亮,易海.北康盆地的形成与演化[J]. *中国海上油气*, 2003, 17(4): 245-248.
- [8] 王嘹亮,梁金强,曾繁彩.北康盆地新生代沉积特征[J]. *南海地质研究*, 2000(12): 58-72.
- [9] 王宏斌,姚伯初,梁金强,等.北康盆地构造特征及其构造区划[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2001, 21(2): 49-54.
- [10] 鄢伟,张光学,张莉,等.南海南部陆缘地质流体类型及其油气成藏意义[J]. *中国地质*, 2018, 45(1): 39-47.
- [11] 雷振宇,张莉,苏明,等.南海南部北康盆地中中新世深水沉积体类型、特征及意义[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2017, 37(6): 110-118.
- [12] 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.
- [13] Fui H K. Stratigraphic Framework for Oil Exploration in Sarawak[J]. *Geological Society of Malaysia Bull.*, 1978, 10: 1-13.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] ASCOPE. Tertiary sedimentary basins of the Gulf of Thailand and south China sea: stratigraphy, structure and hydrocarbon occurrences[J]. ASCOPE Secretariat, 1981.
- [18] Almond J, Vincent P, Williams L R. The application of detailed reservoir geological studies in the 018 Field, Balingian Province, offshore Sarawak[J]. *Geological Society of Malaysia bulletin*, 1990, 27: 137-159.
- [19] Ho K F. Stratigraphic Framework for Oil Exploration in Sarawak[J]. *Geological Society of Malaysia Bulletin*, 1978, 10: 1-13.
- [20] Mat-Zin I C, Tucker M E. An alternative stratigraphic scheme for the Sarawak Basin[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 1999, 17(1): 215-232.

- [21] Abdul M M, Robert H F W. Seismic sequence stratigraphy of the tertiary sediments, offshore sarawak deep water area, Malaysia[J]. Geological Society of Malaysia bulletin, 1995, 37: 354-361.
- [22] 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(Complete): 312-333.
- [23] 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(8): 719-722.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 白志琳, 王后金, 高红芳, 等. 南沙海域主要沉积盆地局部构造特征及组合样式研究[J]. 石油物探, 2004, 43(1): 41-48.
- [27] Haq B U, Hardenbol J, Vail P R. Chronology of Fluctuating Sea Levels Since the Triassic[J]. *Science*, 1987, 235(4793): 1156-1167.
- [28] Hsu S K, Yeh Y C, Doo W B, et al. New Bathymetry and Magnetic Lineations Identifications in the Northernmost South China Sea and their Tectonic Implications[J]. *Marine Geophysical Researches*, 2004, 25(1/2): 29-44.
- [29] Taylor B, Hayes D E. 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[J]. American Geophysical Union, Geophysical Monograph, 1980, 23: 89-104.
- [30] Briais A, Patriat P, Tapponnier P. Updated Interpretation of Magnetic Anomalies and Sea floor Spreading Stages in the South China Sea, Implications for the Tertiary Tectonics of Southeast Asia[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1993, 98(B4): 6299-6328.
- [31] 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.
- [32] 何廉声. 多旋回的板块构造与南海新生代构造[J]. 南海地质研究, 1988: 98-108.
- [33] 吴进民. 南沙海域万安盆地新生代构造运动和构造演化[J]. 海洋地质, 1999(2): 1-11.
- [34] 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.
- [35] 鄢 伟, 张光学, 张 莉, 等. 南海南部北康盆地中新世碳酸盐台地地震响应及分布特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2018, 38(6): 118-126.

AGE DATING OF MAIN GEOLOGICAL INTERFACES AND ITS SIGNIFICANCE IN OIL AND GAS GEOLOGY IN BEIKANG BASIN

SHUAI Qingwei^{1,2}, ZHANG Li^{1,2}, LEI Zhenyu^{1,2*}, LUO Shuaibing^{1,2},
QIAN Xing^{1,2}, LIU Jianping^{1,2}, ZHOU Jiawei^{1,2}

(1 Guangzhou Marine Geology Survey, CGS, Guangzhou 510760, China;

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

Abstract: Using the high-resolution 2D seismic data currently acquired and upon the basis of the regional tectonic background, the comprehensive seismic data interpretation for the Beikang Basin is carried out. Main unconformity interfaces are identified, stratigraphic age redetermined, and their geological significance to oil and gas geology discussed. The results suggest that there are six unconformities in the region respectively corresponding to the Liyue movement, Xiwei movement, South China Sea movement, Nansha movement, Wan'an movement and Guangya movement. Among them, the T₃ unconformity is the boundary of the post-spreading period of the South China Sea caused by the Nansha movement, marking the cessation of the South China Sea spreading. Well-seismic correlation of Well Mulu-1 shows that the unconformity surface (T₃) corresponds to the Middle Miocene unconformity surface (MMU) of 16 Ma characterized by high amplitude, strong erosion and large undulation. Abrupt changes in stratigraphic structure, occurrence, and seismic reflection characteristics occur above and below the interface. It is the boundary face between the deformed and undeformed strata, and bears great significance to local structures and hydrocarbon accumulation.

Key words: geological interface; tectonic movement; oil and gas geology; Beikang Basin; southwestern of the South China Sea