

金龙, 栾锡武, 肖菲, 等. 安达曼海盆地德林达依陆架丹老断裂走滑特征与演化[J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(12): 18-30.

JIN Long, LUAN Xiwu, XIAO Fei, et al. Characterization and evolution of the Mergui Faults in the Tanintharyi Shelf, Andaman Sea Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2024, 40(12): 18-30.

安达曼海盆地德林达依陆架丹老 断裂走滑特征与演化

金龙¹, 栾锡武¹, 肖菲^{2*}, 姜露珊¹, 殷鉴¹, 王子杰¹, 王婕园¹, 杨晓¹, 马浩喆¹

(1 山东科技大学地球科学与工程学院, 青岛 266590; 2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266237)

摘要: 安达曼海盆地是由拉分作用形成的弧后扩张盆地。盆地东部的构造特征与演化对研究安达曼海盆地的演化和板块斜向俯冲作用形成的走滑断裂具有重要意义。本文以二维和三维地震数据为基础, 结合钻井数据, 对安达曼海盆地东部地层结构和构造特征进行分析, 建立了安达曼海盆地东部地区的层序地层结构。通过地层解释和属性分析, 识别了 2 个主要的断裂带, 命名为东丹老断裂和西丹老断裂。根据构造分析, 建立了断裂带的演化模式。研究结果表明, 安达曼海盆地东部断裂带演化划分为 3 个阶段: 早中新世走滑-强拉伸阶段、中—晚中新世扭张-走滑阶段和上新世至今的右旋走滑阶段。

关键词: 安达曼海盆地; 德林达依陆架; 丹老断裂; 走滑断层; 地震解释; 构造演化

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2023.285

0 引言

被断岩块沿断层面走向发生明显位移的断层称之为走滑断层。根据被断岩块的相对位移方向, 断层两侧岩体运动方向为顺时针旋转时, 称之为右行走滑断层或右旋走滑断层, 反之则称为左行走滑断层(左旋走滑断层)^[1]。走滑断裂的构造特征与演化过程是地质学研究的重点内容之一^[2-4]。油气勘探实践表明, 走滑断裂的构造特征与油气成藏之间关联密切, 断裂本体分割正向与负向构造单元, 控制凹陷的沉积、大型构造圈闭的形成, 断裂结构作为通道, 促进了油气的运移^[5-9]。近年来, 高分辨率地震数据被广泛应用于走滑断层研究, 其构造样式、演化过程以及对含油盆地和沉积模式的影响均取

得了长足进展^[2-4,10-11]。

安达曼海盆地是一个典型的弧后扩张盆地^[12], 其形成与演化与 3 个区域性右旋断裂(西安达曼断裂带、实皆断裂和苏门答腊断裂, 位置如图 1 所示)密切相关^[12]。早期的地质调查研究建立了安达曼海盆地的区域地层格架^[12-14]。后续油气勘探活动进一步完善了安达曼海盆地内几个重要裂谷盆地(马塔班盆地、丹老盆地、北苏门答腊盆地)的层序地层^[15-17]。近期, 张鹏等^[18]通过工业钻井和地震数据确定了马塔班盆地的层序地层。而在安达曼盆地东部(如德林达依陆架、东安达曼海盆地), 钻井数据匮乏, 仍未建立详细、完善的层序地层格架。

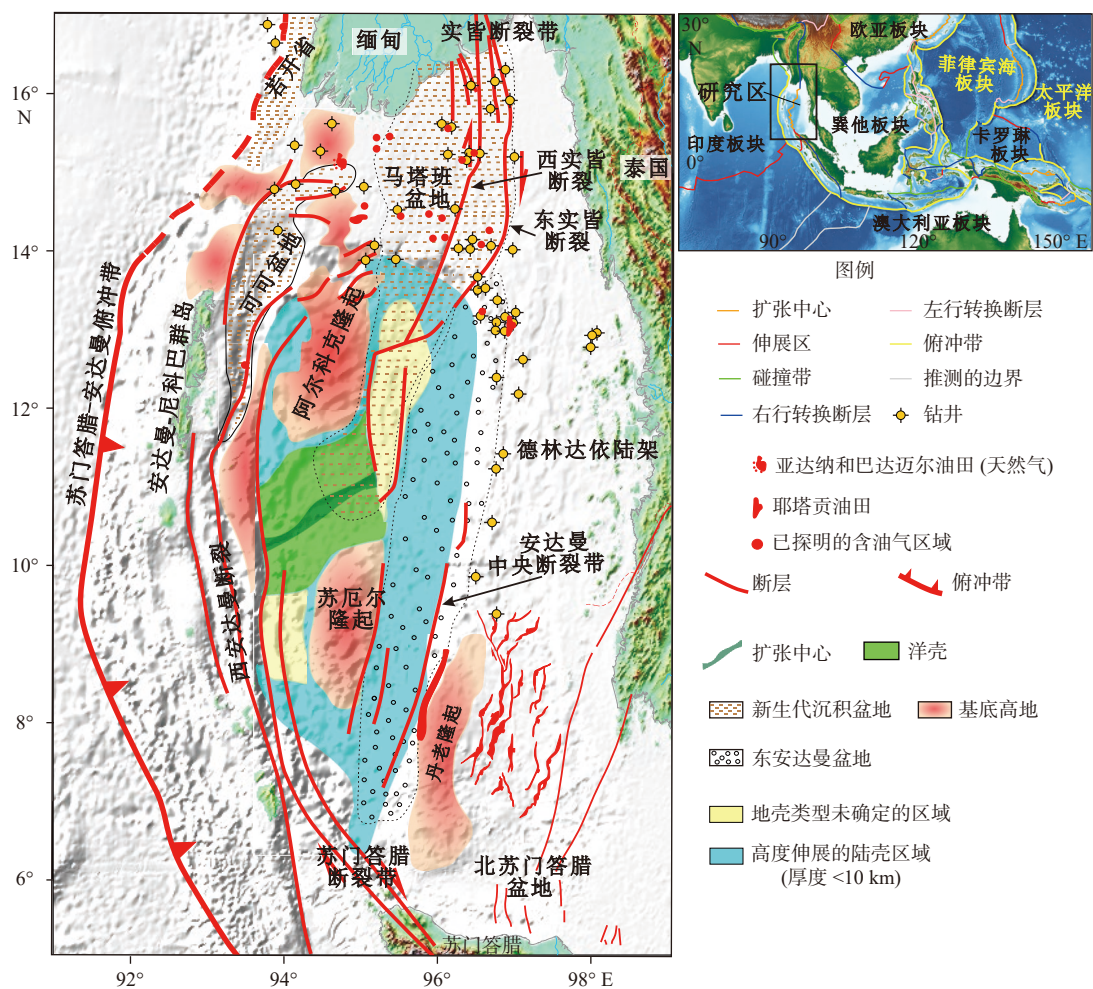
实皆断裂是安达曼海盆地东部最重要的地质单元, 全长约 1 500 km, 被视为东南亚最大的活动走滑断裂^[19-21]。实皆断裂是西缅甸微块的西部边界, 53~38 Ma 期间, 实阶断裂右行走滑, 西缅甸块向北移动的距离达 2 000 km, 伴随大量的岩浆活动^[22-24]。晚渐新世—早中新世, 在 NW—SE 向伸展应力场背景下, 丹老盆地走滑拉分形成。16~10 Ma 期间(中—晚中新世), 实皆断裂再次右行走滑^[25]。在陆地上, 实皆断裂呈线性向北延伸, 与东喜马拉雅

收稿日期: 2023-12-16

资助项目: 国家自然科学基金(92055211, 42249801); 中国-东盟海上合作基金项目(2120100500017001)

第一作者: 金龙(1995—), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事海洋地球物理方面的研究工作。E-mail: jinlong_geology@163.com

* 通讯作者: 肖菲(1978—), 女, 高级工程师, 主要从事海洋地质方面的研究工作。E-mail: xiaofei_hds@163.com



部分板块边界及分类据文献 [26] 修改, 钻井信息和油气分布据文献 [11, 27-31] 修改, 底图据文献 [23] 修改

图 1 研究区位置及区域地质构造

Fig.1 Location of the study area and regional tectonics

雅构造结相接^[26]。在安达曼海盆地北部, 实皆断裂呈马尾状散开, 分裂成东实皆断裂和西实皆断裂, 通过一系列小型转换断层与安达曼扩张中心相连^[20, 23, 27]。部分学者认为安达曼海盆地的东部存在着大量与实皆断裂马尾系相关的 EW—NE 向的走滑断层, 曾称之为南实皆断裂^[22, 28-29]。MAHAT-TANACHAI 等^[17]发现, 南实皆断裂的活动时间与实皆断裂的活动时间不一致, 将其重命名为安达曼盆地中央断裂带。中央断裂带以北的断层构造特征及其与北部实皆断裂带的关系成为近年安达曼海盆地的研究热点。

本研究利用二维地震测线 (数据采集时间为 2004—2007 年, 总长度为 5 000 km, 覆盖了整个德林达依地区) 和三维地震数据体 (数据采集时间为 2015 年 11 月—2016 年 2 月, 覆盖面积为 6 500 km²), 结合近年发表的石油工业钻井数据和解释的地震剖面, 建立了安达曼海盆地东部德林达依陆架的层

序地层格架。通过地震属性提取和层位追踪技术对丹老断裂进行了精细刻画, 揭示了丹老断裂的形成与演化机制。

1 地质背景

1.1 安达曼海盆地的构造演化

安达曼海盆地位于东北印度洋, 巽他俯冲带的东部 (苏门答腊-安达曼俯冲带)^[12] (图 1), 是印度板块与东南亚板块斜向耦合作用形成的弧后扩张盆地^[17]。安达曼海盆地由海沟、弧前盆地、内斜坡、外高地、火山岛弧和弧后盆地 6 个地质单元构成^[13]。3 个大型右旋走滑断层 (西安达曼断裂、苏门答腊断裂、实皆断裂) 和大量的小型断裂、新生代沉积盆地 (北苏门答腊盆地、丹老盆地、东安达曼盆地、马塔班盆地) 以及 2 个指示新生代火山活动的隆起构造

(苏厄尔隆起和阿尔科克隆起)共同构成了弧后区域复杂的构造格局(图 1)^[15-16]。

安达曼海盆地经历了复杂的构造变形(图 2),其演化过程与西缅甸地体构造活动和印度-澳大利亚板块向东南板块(巽他板块)的斜向汇聚密切相关^[12,14-16,30-31]。印度板块向巽他大陆之下俯冲始于晚白垩世^[12,32]。至古新世晚期,随着印度板块与东南亚板块的进一步耦合,印度板块开始沿着巽他俯冲带相对东南亚板块向东俯冲并向北移动^[12,18,30,33]。中新世时期,随着印度与欧亚大陆碰撞,安达曼海盆地打开^[12,32],随后发生了挤压变形,伸展方向持续的顺时针旋转和走滑拉分^[15,32,34]。这个构造过程导致了阿尔科克隆起与苏厄尔隆起的分离和安达曼扩张中心的形成^[12,35-36]。后期,走滑拉分运动主导了盆地的演化,一系列伸展盆地得以形成(如丹老盆地、东安达曼盆地)^[12,18,34]。

1.2 安达曼海盆地东部层序地层学

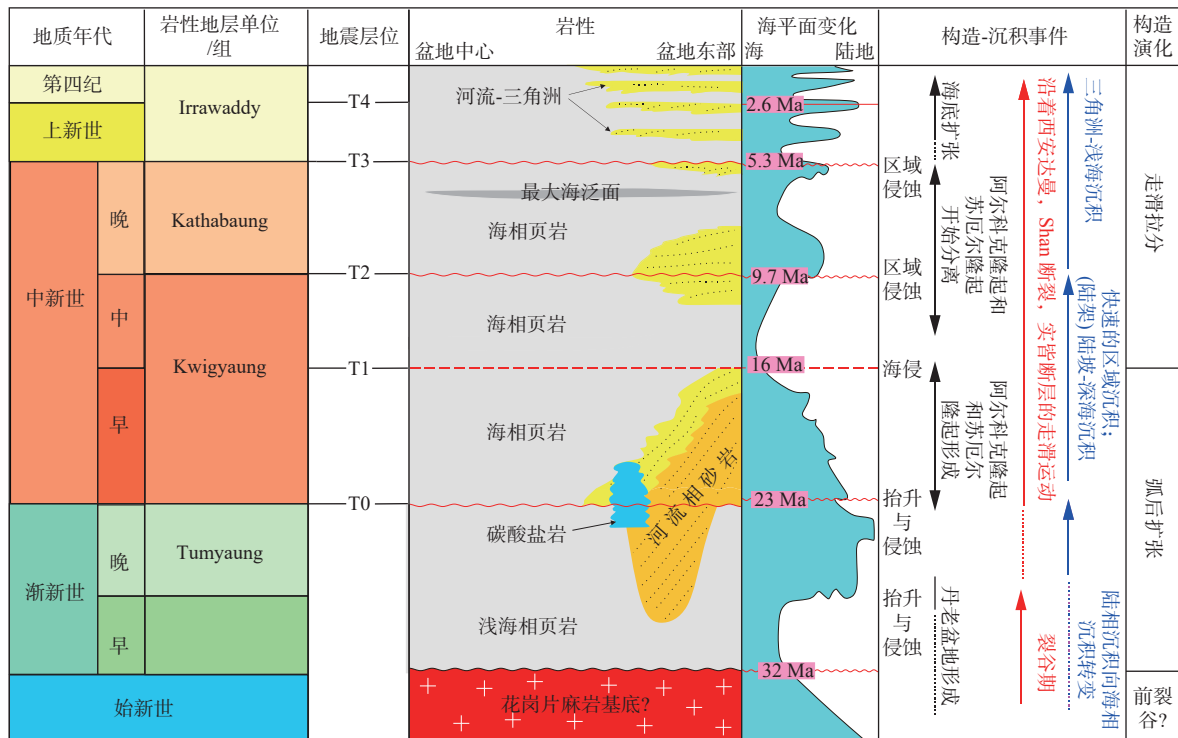
安达曼海盆地东部尚未建立统一、完善的层序地层格架。本文基于钻井资料与地震剖面分析对地层层序进行划分^[13,16,18,28,37-42]。地震层序边界被划分为 5 部分: T0(基底)、T1(下中新统顶界面)、T2(中中新统顶界)、T3(上中新统顶界)、T4(更新统

顶界)(图 2)^[41-44]。

通过层序地层学^[16,18,34,37-40]与地层^[13,28,40]对比,确定了安达曼海盆地东部层序地层(图 2)。渐新统 Tumyaung 组由湖相-浅海相碳酸盐岩与页岩构成^[18],与下伏古近系花岗质基底和上覆 Kwingyaung 组均呈不整合接触。Kwingyaung 组(T0—T2)由一套浅海沉积岩构成,上部主要为粉砂质云母质黏土层和少量薄层细粒砂岩,下部由泥灰岩和灰岩互层构成^[37-39]。Kathabaung 组(T2—T3)不整合的覆盖在 Kwingyaung 组之上,以砂岩和页岩互层为特征,最大沉积厚度超过 900 m,沿沉积中心向东递减^[16,40]。Irrawaddy 组覆盖在 Kathabaung 组(T2—T3)之上,沉积厚度沿陆架向西明显增大。这套岩层主要由松散三角洲黏土岩、粉砂岩、细—中粒砂岩构成^[16,18,41-42]。

2 数据处理与方法

尽管安达曼海盆地已有大量二维和三维地震数据,但钻井数据非常有限,仅在北部几个新生代盆地(马塔班盆地、北苏门答腊盆地和丹老盆地)有可供使用的钻井数据。本研究整合了近 5 年发表的文献^[15-18,21,29,41-42,45],通过井震联合(1AA-1、1AA-2、3DB-1、3DA-XC、A1、X1、X2、X3、B1、Manora-1、



修改自文献^[13,15,18,28,40]

图 2 研究区层序地层格架

Fig.2 The stratigraphic framework in the study area

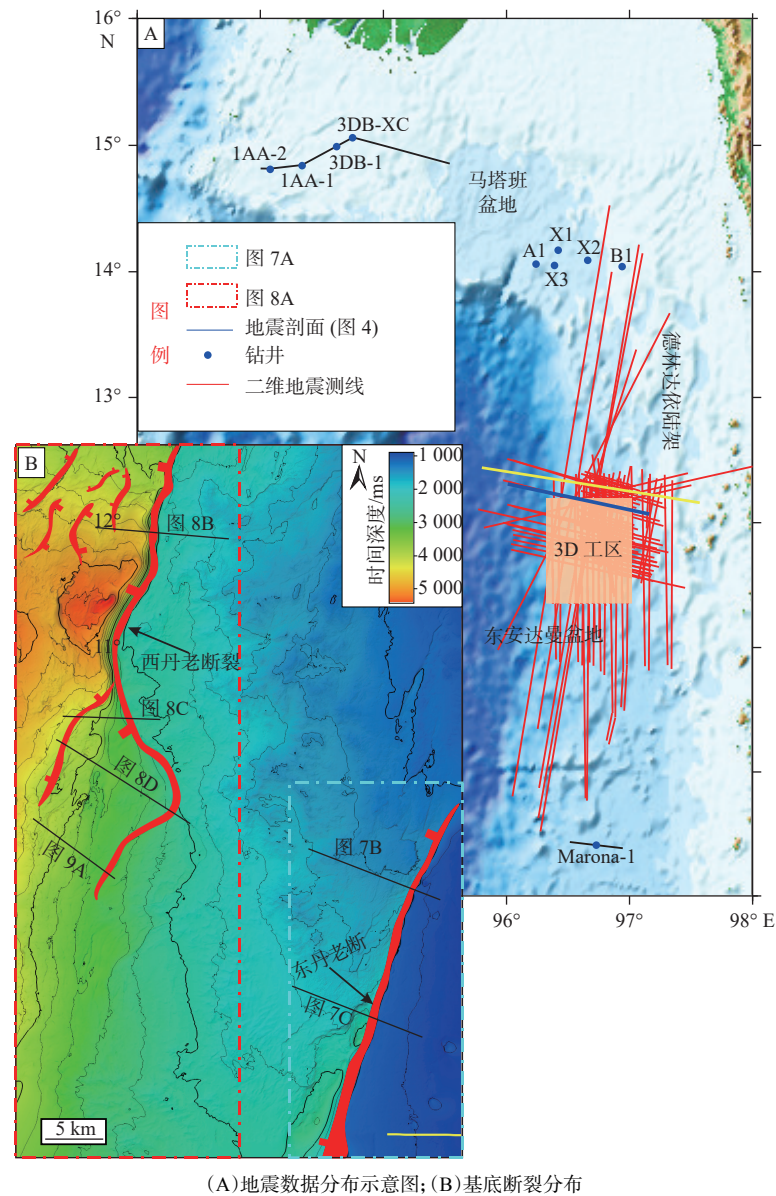


图 3 二维地震测线、三维地震数据和关键的钻井及基底构造图示意图

Fig.3 Schematic of 2D seismic lines, 3D seismic data, and key drilling and basement tectonic map

具体位置见图 3) 进行层序划分, 最终确定了从基底到海底的 5 个关键层位界面: T0、T1、T2、T3、T4 (图 4)。层位在三维地震剖面中以 50 m×50 m 的网格间距进行解释, 随后通过三维自动跟踪进行精细解释, 最后手动追踪进行校正。断层结构样式以时间切片、剖面 and 三维透视图的形式展示。利用方差地震属性和反射强度地震属性对沉积单元和断裂进行精细刻画。

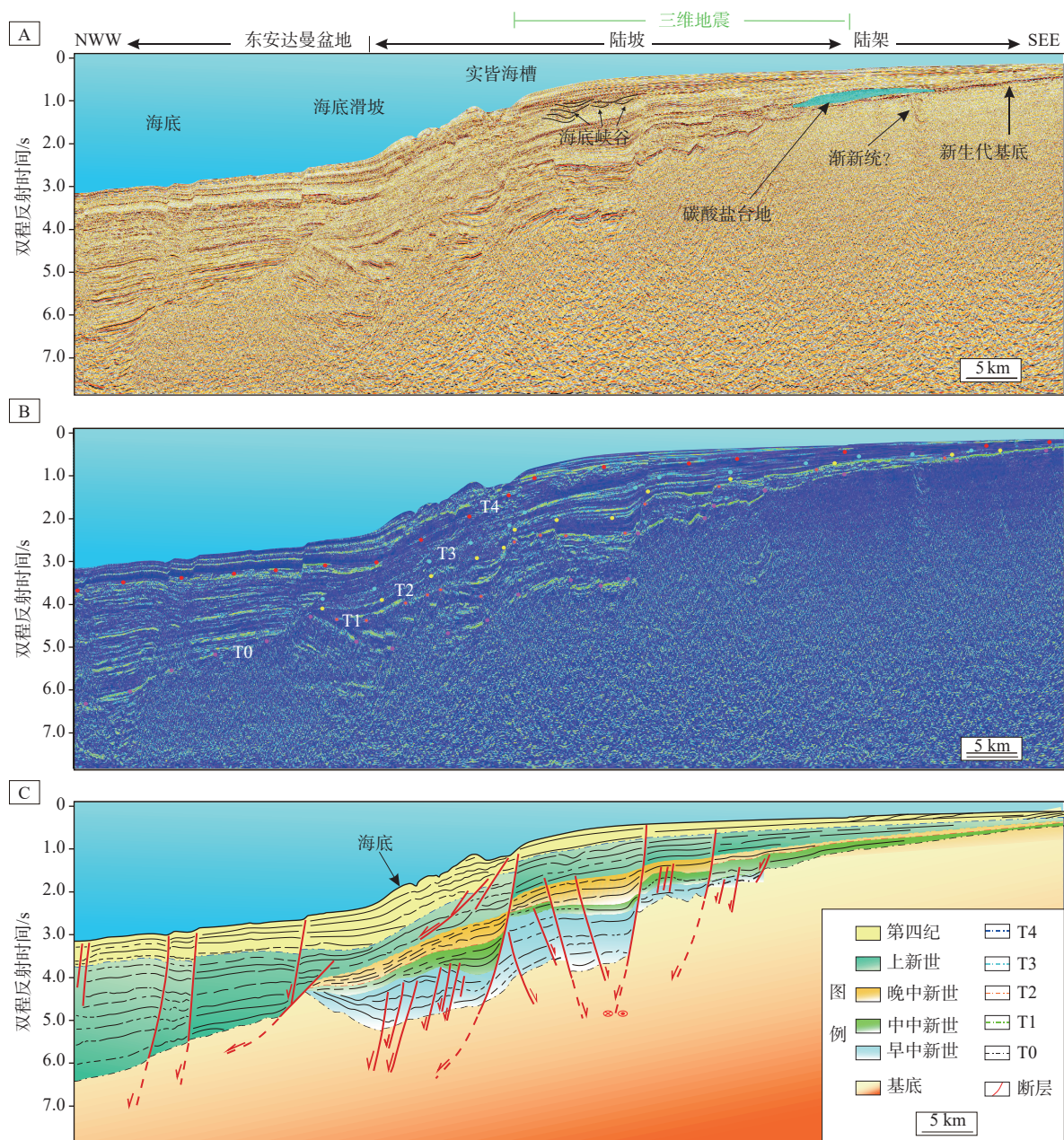
由于研究区内缺乏可以直接使用的钻井数据, 因此, 地震层位(T4, 上新世顶部; T3 顶部为晚中新世; T2, 中中新世顶部; T1, 顶部早中新世; T0, 基底) 根据以下证据确定: ①M15 区块的区域地质剖面^[40] (位置见图 3) 分析结果表明, 德林达依地区(东安达

曼和德林达依陆架) 由 5 套地层组成, 具有明显的振幅、反射面连续性和变形模式差异; ②与已发表的德林达依陆架的地震剖面对比, 确定了 5 个主层位(T0、T1、T2、T3、T4) 的位置^[41-43]; ③通过与相邻盆地(马塔班盆地、丹老盆地) 的钻井数据和地震剖面建立联系, 确定各地层单元的反射特征, 对关键层位进行校正。

3 分析结果

3.1 新生代地震地层

安达曼海盆地东部, 渐新统随着右旋走滑运动



(A)原始地震剖面;(B)反射强度属性剖面;(C)解释的地震地层剖面

图4 地震剖面解释

Fig.4 Seismic profiling of the Cenozoic strata

而被挤出^[16],下中新统直接覆盖在古近系花岗岩基底之上(T0—T1,图4),在局部构造高地上识别出典型的碳酸盐台地反射特征(图4B)^[41-42]。地震剖面显示,该地层主要沉积在多断半地堑盆地中,向东沉积厚度明显减薄,地层内部以高振幅地震反射为特征,同相轴具明显的向陆地倾斜趋势。中中新统(T1—T2,图4)以海相页岩和三角洲相碎屑岩为主,与下伏下中新统呈角度不整合接触^[37-38,40,42],地震反射以低振幅、平行反射为主(图4)。上中新统沉积了大量浅海相页岩和三角洲相砂岩,沉积物厚

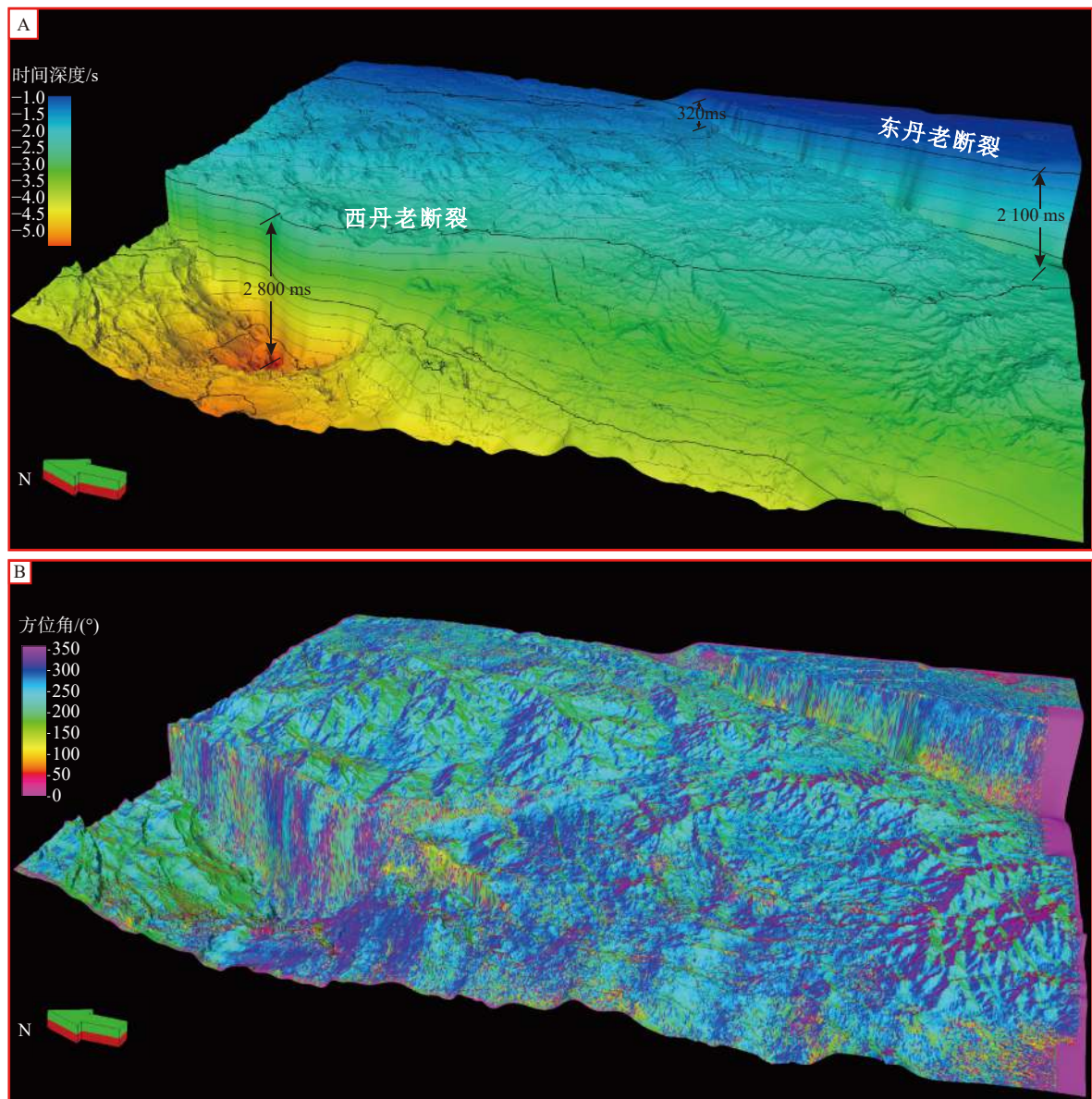
度变化较大,在中部沉积较厚,地震反射以低振幅反射为主,东部局部可见平行、高振幅反射。在上新世,青藏高原为盆地提供了大量沉积物,沿着实皆海槽沉积了厚约 870 ms 的上新世至第四纪的沉积物(由于钻井数据缺乏,难以建立速度模型,沉积物厚度的计算未进行时深转换)^[14,18,46],地震反射主要表现为平行反射,振幅强度自下而上逐渐增强,表明粗粒碎屑物供给逐渐增加。由于第四系主要沉积松散的三角洲黏土岩、粉砂岩、细—中粒砂岩^[18,42],反射多样,在坡折带观测到代表滑塌的混

沌反射, 东部陆架发育明显的 S 形前积反射, 可能是内陆架^[47] 三角洲。

3.2 断裂的几何特征

利用三维地震层位自动追踪技术, 对研究区基底变形特征进行了刻画。三维地震数据可视化结

果揭示了 2 个深切基底的断裂系统(图 5、6)。由于缺乏直接的证据证明研究区内断裂带与实皆断裂和安达曼中央断裂之间的联系, 因此, 本文根据地理位置将西部的马尾状断裂(图 5、6)命名为西丹老断裂, 西南端的半地堑(图 5、6A)称为东丹老断裂。



(A) 三维地震勘探解释的基底时深结构图; (B) 方位角属性的基底时深结构图, 显示了丹老断裂在基底的形态与方位变化

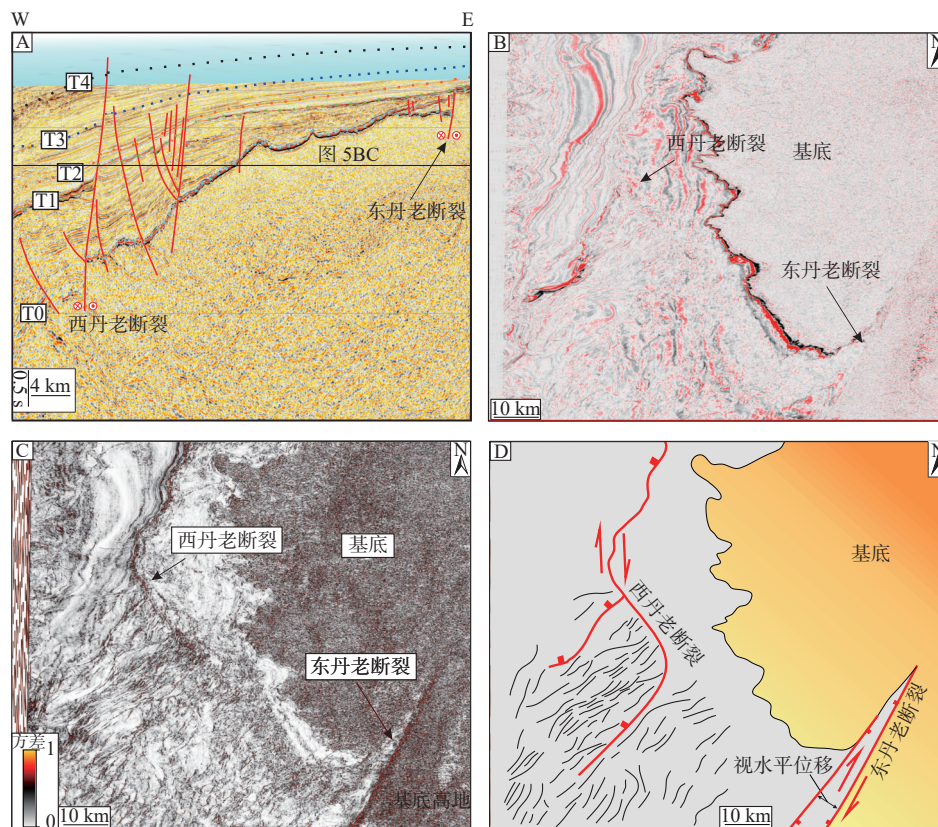
图 5 丹老断裂三维透视图

Fig.5 Three-dimensional perspective view of the Mergui Faults

西丹老断裂是一个典型的高角度右旋走滑断裂, 形似马尾(图 5、6), 由 SN—SEE—WSW 向延伸的主断层和一系列走向为 WSW 和 SN 向的次断层构成(图 5B)。西丹老断裂在研究区内全长约 73 900 m。在基底上, 断层落差变化大, 北部最大落

差(时间深度)约 2 800 ms(图 5A)。

东丹老断裂是一个右旋走滑断层, 断层倾向 NWW、走向 SW。断层落差向南逐渐增大, 导致断层东侧成为基底高地(图 5)。沿断层走向, 断层水平位移逐渐增大(310~2 100 ms)(图 6), 最终形成



(A)三维地震剖面图,显示时间切片位于双程旅行时 2 000 ms 处; (B)原始的三维地震时间切片;
(C)三维地震的方差切片; (D)解释的断层平面分布

图 6 丹老断裂地震剖面

Fig.6 Seismic profile of the Mergui Faults

了一个楔状断陷盆地(图 5、6A)。

3.3 东丹老断裂构造样式

西缅甸地体的走滑运动、青藏高原压扭变形回撤^[30]可能与东丹老断裂的北半堦—南双断半地堦构造格局密切相关(图 5、7)。在东丹老断裂北部,剖面表现为由陡立断层面和向海倾斜的单斜岩层构成的半地堦。中中新统与下中新统间存在不整合接触关系,断层仅发育在下中新统中,因此推测东丹老断裂的北端断层活动时间是下中新世末期或中中新世早期。

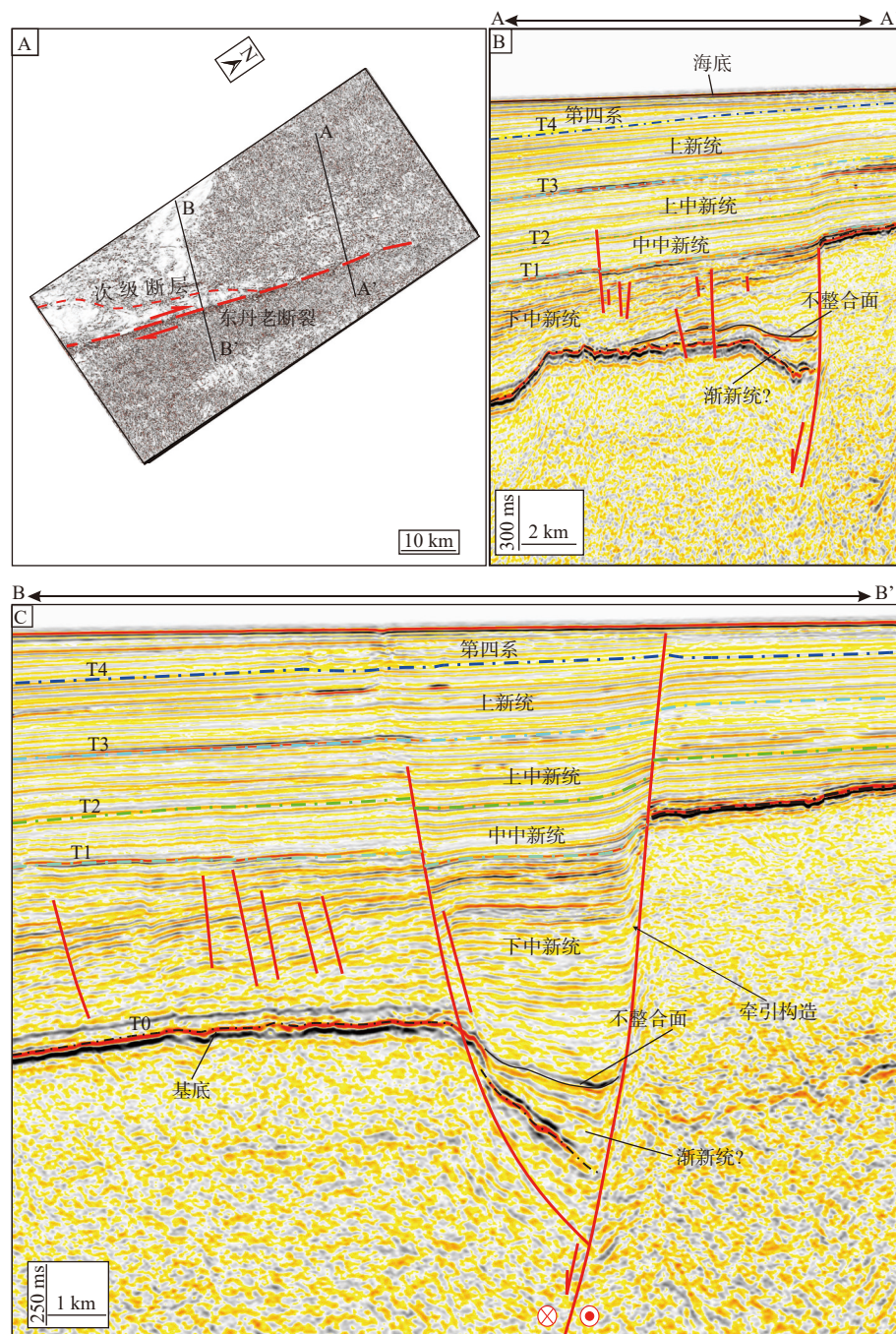
沿着断层走向,分支断层呈 WSW 向延伸,其北东端与主断层斜交,在剖面构成“Y”型断层,半地堦转变为双断半地堦(图 7B、C)。断层落差沿断层走向(向南)逐渐增加,西侧基底下沉的深度明显增加,这导致在半地堦的深部保留了一部分渐新统地层(图 7B、C)。主断层面横穿了下中新统及上覆的全部地层,随着深度增加断层面倾角逐渐变缓,断层面的西翼可以观测到明显的牵引构造(图 7C),表明主断层是一个同沉积断层。

3.4 西丹老断裂构造样式

西丹老断裂的构造变形复杂,根据构造样式和走向的几何特征,将西丹老断裂分 3 个区块(北区、中心区和西南区)。西丹老断裂近 SN 走向的主断层贯穿了整个北区,剖面上表现为高陡的正断层(图 8A)。主断层在中心区呈马尾状分裂为一系列“S”型的雁列断层,在剖面上表现为典型的负花状构造。走滑作用形成了大量 NE、NNE 向的断层,呈平行或亚平行分布在南区,在剖面上表现为负花状构造、帚状断层(图 8C、D)。在断裂带末端,一些走向平行的断层,其倾向相反,在剖面上形似放射状,但不具备同心层状结构,将其称为似放射状断层(图 9)。

4 讨论

东、西丹老断裂均表现出了差异构造变形特征,走滑运动造成的张性变形大多形成于中新世,而上新世至第四纪以走滑变形为主,几乎没有次断层发



(A) 东丹老断裂方差时间切片(时间深度 2 000 ms); (B)、(C) 东丹老断裂地震剖面(位置详见图 3B、图 7A)

图 7 地震剖面显示的东丹老断裂

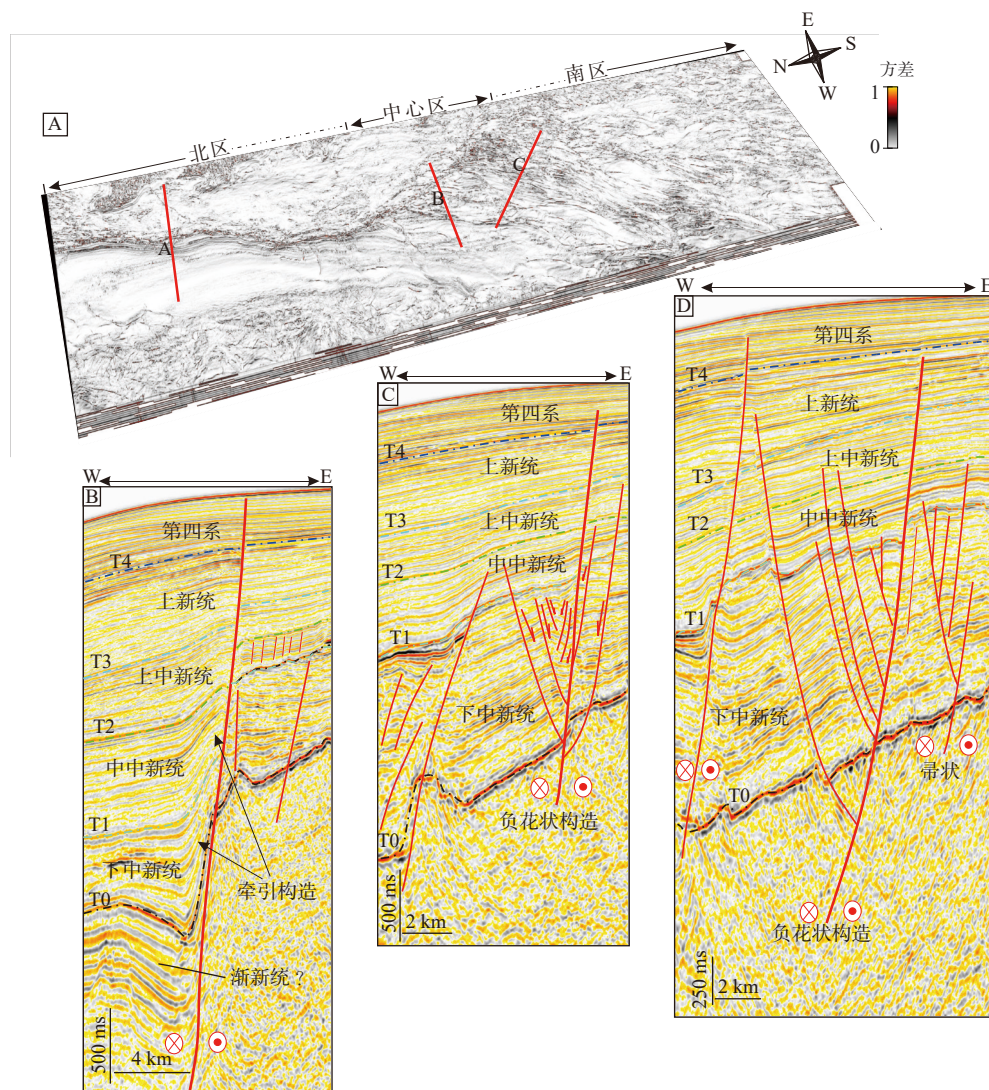
Fig.7 Seismic profile of the eastern Merigui Fault

育。因此,推测东、西丹老断裂的演化可能受印度板块与欧亚板块的斜向耦合作用影响^[15-16,30,33,48]。

印度板块相对于东南亚板块的斜向耦合,导致印度板块沿着巽他海沟向东俯冲和向北右旋走滑^[49-50]。渐新世至早中新世,安达曼东部经历了 EW—ENE—WSW 的伸展^[15,49]。这种张扭力可能与西丹老断裂和东丹老断裂的演化过程密切相关。晚中新世时期,伸展方向的顺时针旋转,在安达曼

扩张中心和东部的实皆断裂之间产生了大规模的拉分变形^[35,51]。这种拉分变形可能导致西丹老断裂走滑运动的扭张,在这种张扭性应力的作用下形成了一系列斜交主断层的次断层,最终形成了马尾状断层。在这种区域性张扭应力作用下,新的走滑拉分变形叠加在南部的半地堑变形之上,形成多断半地堑。

随着区域拉伸作用从安达曼盆地东部迁移而



(A)西丹老断裂方差时间切片(时间深度 2 000 ms), (B)、(C)、(D) 西丹老断裂地震剖面(位置见图 3B、图 8A)

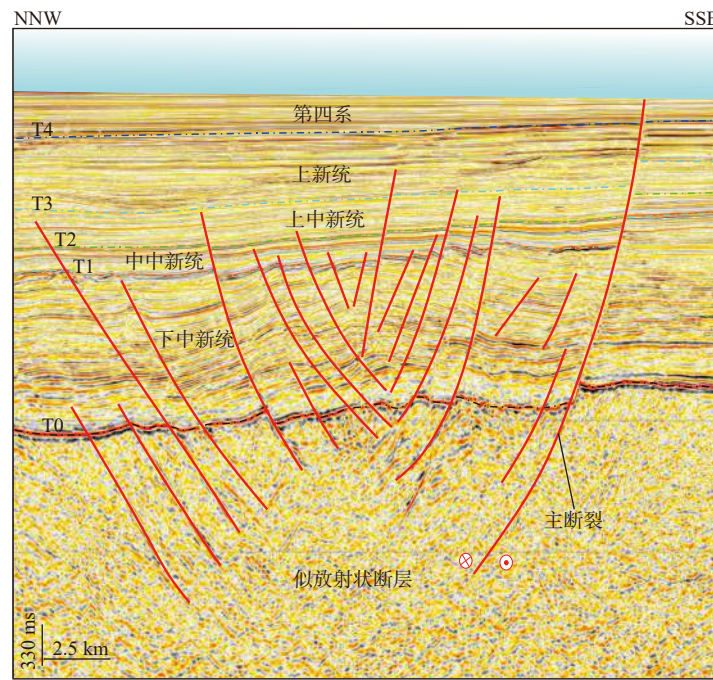
图 8 地震剖面显示的西丹老断裂

Fig.8 Seismic profiles of the western Merugi Fault

出,西缅甸地体的右旋剪切运动主导了东部的构造演化^[12,52]。拉伸作用的迁出,导致安达曼东部的拉张变形逐渐消失,至第四纪主断层两侧几乎不发育拉张断裂(图 4、图 6—9)。在这个时期,西丹老断裂走滑运动向北迁移,形成孤立的高角度走滑断层,东丹老断裂的走滑运动则向西南迁移,最终也发育成高度的孤立走滑断层。

鉴于此,本文建立了一个概念模型来进一步阐明印度板块的斜向俯冲对安达曼海盆地东部断裂演化的影响。安达曼海盆地东部的断裂活动时间可能与安达曼中央断裂带的时间一致^[16],开始于晚渐新世—早中新世。在这个时期断层表现为走滑正断层,EW 向伸展作用控制着断层的演化,走滑运动相对较弱,因此将这个阶段称之为走滑—强拉伸

阶段(图 10A)。在此阶段,EW 向的张应力作用下,断层落差较大,常形成半地堑盆地。随着印度板块与东南亚板块耦合程度增加,伸展方向发生顺时针旋转^[15,49]。这种斜向的伸展作用增强了走滑运动,而拉张作用相对减弱,此阶段被称为扭张—走滑阶段(图 10B)。该阶段介于中中新世与晚中新世之间,在这种持续旋转的拉张作用和右旋走滑运动的双重作用下,断层通常发育于负花状构造(图 8B、C),或楔状的断陷盆地中(图 5—7)。上新世至今为右旋走滑阶段(图 10C),这个变形阶段被归因于区域的拉伸从安达曼盆地东部迁出,和西缅甸地体相关的右旋剪切活动。在这个阶段,构造变形以纯剪切变形为主,发育高陡的走滑断层,以不发育分支断层和无明显的纵向位移为特征。



位置见图 3B

图 9 地震剖面显示的西丹老断裂

Fig.9 Seismic profiles of the western Merugi Fault

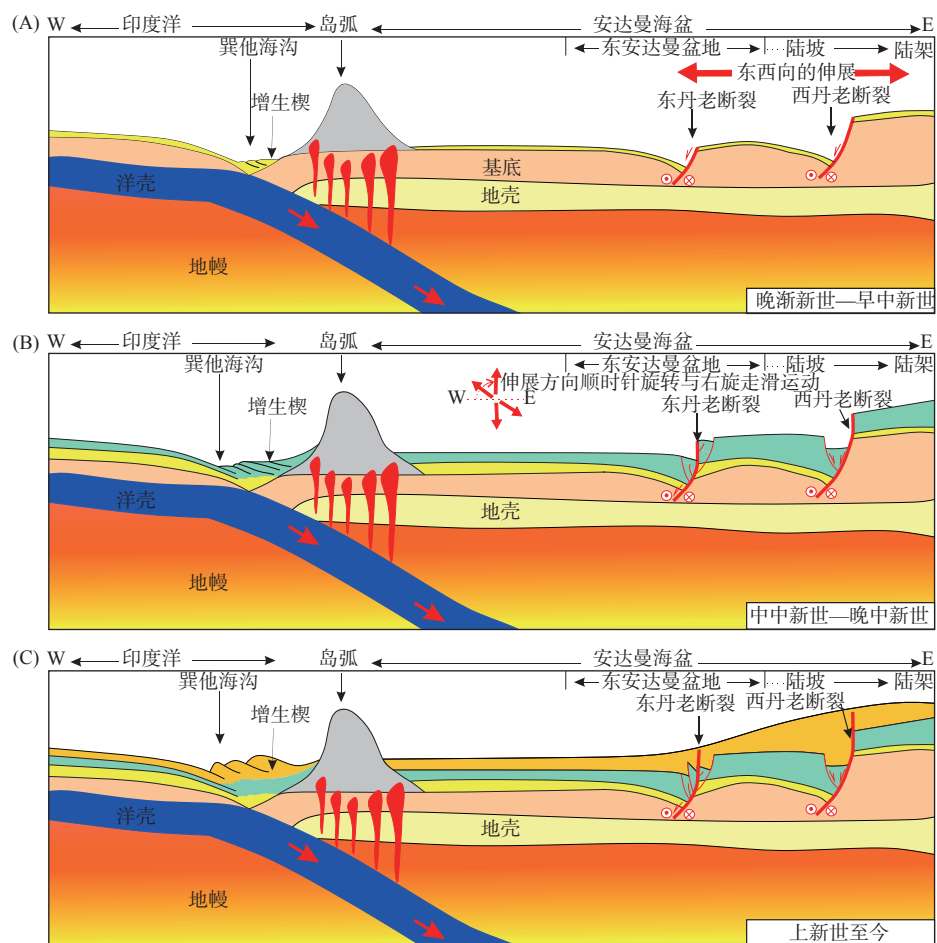


图 10 安达曼东部丹老断裂的形成与演化过程

Fig.10 Formation and evolution of the Mergui Faults in the eastern of the Andaman Basin

5 结论

(1)本文以二维地震测线和三维地震数据体为基础,结合已发表的钻井和地震剖面等相关信息,建立了安达曼海盆地东部地区的层序地层格架。该区域地层层序由 5 个层位边界和 4 组地层构成;层位边界自下而上依次为 T0-基底, T1-下中新统顶, T2-中中新统顶, T3-上中新统顶和 T4-上新世顶;对应地层分别为下中新统(T0—T1),中中新统(T1—T2),上中新统(T2—T3),第四系(T3—T4)。

(2)在研究区三维地震数据体内,通过地震层位智能拾取技术识别出 2 套右旋走滑断裂系统,分别命名为西丹老断裂和东丹老断裂。

(3)根据构造特征和区域构造演化,安达曼海盆地东部的断层演化过程被分为 3 个阶段:①走滑-强拉伸阶段,早中新世,EW 向的伸展运动主导了构造演化,形成半地堑盆地;②扭张-走滑阶段,由印度与欧亚板块斜向耦合作用产生的 EW—ENE—WSW 顺时针方向旋转的伸展作用,半地堑转变为多断(双断)半地堑或马尾状断层;③右旋走滑(右旋纯剪)阶段,随着拉伸作用迁出东安达曼盆地,右旋剪切作用主导了断层的演化,通常形成高角度的走滑断层,几乎不发育次级断层。

参考文献:

- [1] 夏义平,刘万辉,徐礼贵,等.走滑断层的识别标志及其石油地质意义[J].中国石油勘探,2007,12(1):17-23,48,92.
XIA Y P, LIU W H, XU G L, et al. Identification of strike-slip fault and its petroleum geology significance[J]. China Petroleum Exploration, 2007, 12(1): 17-23, 48, 92.
- [2] PENG J S, WEI A J, SUN Z, et al. Sinistral strike slip of the Zhangjiakou-Penglai Fault and its control on hydrocarbon accumulation in the northeast of Shaleitian Bulge, Bohai Bay Basin, East China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2018, 45(2): 215-226.
- [3] 许志琴,曾令森,杨经绥,等.走滑断裂、“挤压性盆-山构造”与油气资源关系的探讨[J].地球科学,2004,29(6):631-643.
XU Z Q, ZENG L S, YANG J S, et al. Role of large-scale strike-slip faults in the formation of petroleum-bearing compressional basin-mountain range systems [J]. *Earth Science*, 29(6): 631-643.
- [4] CAO S Y, FRANZ N. Deep crustal expressions of exhumed strike-slip fault systems: shear zone initiation on rheological boundaries[J]. *Earth-Science Reviews*, 2016, 162: 155-176.
- [5] 付小东,张本健,汪泽成,等.四川盆地中西部走滑断裂及其对油气成藏控制作用[J].地球科学,2023,48(6):2221-2237.
FU X D, ZHANG B J, WANG Z C, et al. Strike-slip faults in central and western Sichuan Basin and their control functions on hydrocarbon accumulation [J]. *Earth Science*, 2023, 48(6): 2221-2237.
- [6] 冯保周,于长录,何太洪,等.鄂尔多斯盆地伊陕斜坡北部断裂体系的发现及地质意义[J].西安石油大学学报(自然科学版),2022,37(2):1-8.
FENG B Z, YU C L, HE T H, et al. Discovery of fault system in the north of Yishan Slope in Ordos Basin and its geological significance[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition)*, 2022, 37(2): 1-8.
- [7] 冯志强,李萌,郭元岭,等.中国典型大型走滑断裂及相关盆地成因研究[J].地学前缘,2022,29(6):206-223.
FENG Z Q, LI M, GUO Y L, et al. Genetic analysis of typical strike-slip faults and related basins in China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2022, 29(6): 206-223.
- [8] 王健伟,鲍军,曹建军,等.准噶尔盆地腹部两类走滑断裂带及其构造变形样式[J].地球科学,2022,47(9):3389-3400.
WANG J W, BAO J, CAO J J, et al. Two types of strike-slip fault zones and their tectonic deformation patterns in the central Junggar Basin[J]. *Earth Science*, 2022, 47(9): 3389-3400.
- [9] 张驰,储呈林,徐勤琪,等.阿克库勒凸起东南斜坡走滑断裂构造特征及油气地质意义[J].地质学报,2024,98(2):481-493.
ZHANG C, CHU C L, XU Q Q, et al. Tectonic characteristics of strike-slip faults in southeastern slope of Akkule Uplift in Tarim Basin, and its petroleum geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2024, 98(2): 481-493.
- [10] HUANG L, LIU C Y. Three types of flower structures in a divergent-wrench fault zone [J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2017, 122(12): 10478-10497.
- [11] HU Z W, XU C G, WANG D Y, et al. Superimposed characteristics and genetic mechanism of strike-slip faults in the Bohai Sea, China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2019, 46(2): 265-279.
- [12] CURRAY J R. Tectonics and history of the Andaman Sea region[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2005, 25(1): 187-232.
- [13] SRIVASTAVA D K, DAVE A, DANGWAL V. Sequence stratigraphy of the Andaman Basin, northern Indian Ocean[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2021, 133: 105298.
- [14] KAMESH R K A, ASWINI K K, YATHEESH V. Tectonics of the Andaman Backarc Basin: present understanding and some outstanding questions [M]//RAY J S, RADHAKRISHNA M. The Andaman Islands and Adjoining Offshore: Geology, Tectonics and Palaeoclimate. Cham: Springer International Publishing, 2020: 237-259.
- [15] SRISURIYON K, MORLEY C K. Pull-apart development at overlapping fault tips: oblique rifting of a Cenozoic continental margin, northern Mergui Basin, Andaman Sea[J]. *Geosphere*, 2014, 10(1): 80-106.
- [16] MORLEY C K. Cenozoic structural evolution of the Andaman Sea: evolution from an extensional to a sheared margin[J]. *Geo-*

- logical Society, London, Special Publications, 2016, 431(1): 39-61.
- [17] MAHATTANACHAI T, MORLEY C K, PUNYA C, et al. The Andaman Basin Central Fault Zone, Andaman Sea: characteristics of a major deepwater strike-slip fault system in a polyphase rift[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2021, 128: 1-20.
- [18] ZHANG P, JIANG S Y, LI R Y, et al. Tectonic and climate forcing of exhumation in the SE Tibetan Plateau over the past 7 Ma: insights from the deltaic-submarine fan system in the Andaman Sea, northeastern Indian Ocean[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2023, 620: 111573.
- [19] THOMAS M, RANGIN C. Structure and kinematics of the Indo-Burmese Wedge: recent and fast growth of the outer wedge[J]. *Tectonics*, 2009, 28(2): 150-170.
- [20] CHRISTOPHE V, SOCQUET A, RANGIN C, et al. Present-day crustal deformation around Sagaing Fault, Myanmar[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2003, 108(B11): 001999.
- [21] MORLEY C K. Cenozoic rifting, passive margin development and strike-slip faulting in the Andaman Sea: a discussion of established v. new tectonic models [M]//BANDOPADHYAY P C, CARTER A. The Andaman-Nicobar Accretionary Ridge: Geology, Tectonics and Hazards. London: Geological Society of London Memoirs, 2017, 47(1): 27-50.
- [22] RANGIN C, THOMAS M, FRÉDÉRIC M. Combined effects of Eurasia/Sunda oblique convergence and East-Tibetan crustal flow on the active tectonics of Burma[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 76: 185-194.
- [23] ZHANG P, MEI L F, HU X L, et al. Structures, uplift, and magmatism of the Western Myanmar Arc: constraints to Mid-Cretaceous-Paleogene tectonic evolution of the western Myanmar continental margin[J]. *Gondwana Research*, 2017, 52: 18-38.
- [24] ZHANG P, MEI L F, JIANG S Y, et al. Erosion and sedimentation in SE Tibet and Myanmar during the evolution of the Burmese continental margin from the Late Cretaceous to Early Neogene[J]. *Gondwana Research*, 2021, 95: 149-175.
- [25] GUILLAUME B, RANGIN C, MALUSKI H, et al. Diachronous cooling along the Mogok Metamorphic Belt (Shan Scarp, Myanmar): the trace of the northward migration of the Indian Syntaxis[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2001, 19(5): 649-659.
- [26] MORLEY C K. Discussion of tectonic models for Cenozoic strike-slip fault-affected continental margins of mainland SE Asia[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 76: 137-151.
- [27] MORLEY C K. Syn-kinematic sedimentation at a releasing splay in the northern Minwun Ranges, Sagaing Fault Zone, Myanmar: significance for fault timing and displacement[J]. *Basin Research*, 2017, 29(S1): 684-700.
- [28] RACEY A, RIDD M F. Petroleum geology of the Moattama Region, Myanmar [M]//RACEY A, RIDD M F. Petroleum Geology of Myanmar. London : Geological. Society of London Memoirs, 2015, 45(1): 63-81.
- [29] MORLEY C K. The widespread occurrence of low-angle normal faults in a rift setting: review of examples from Thailand, and implications for their origin and evolution[J]. *Earth-Science Reviews*, 2014, 133: 18-42.
- [30] MORLEY C K, WANG Y. The Cenozoic hyper-oblique collision zone of Indochina: a reappraisal of escape tectonics[J]. *Earth-Science Reviews*, 2023, 243: 104453.
- [31] NAJMAN Y, SOBEL E R, MILLAR I, et al. The timing of collision between Asia and the West Burma Terrane, and the development of the Indo-Burman Ranges[J]. *Tectonics*, 2022, 41(7): e2021TC007057.
- [32] MOEREMANS R E, SINGH S C. Fore-arc basin deformation in the Andaman-Nicobar segment of the Sumatra-Andaman subduction zone: insight from high-resolution seismic reflection data[J]. *Tectonics*, 2015, 34(8): 1736-1750.
- [33] MORLEY C K, CHANTRAPRASERT S, KONGCHUM J, et al. The West Burma Terrane, a review of recent paleo-latitude data, its geological implications and constraints[J]. *Earth-Science Reviews*, 2021, 220: 103722.
- [34] MORLEY C K, CHANTRAPRASERT S, KONGCHUM J, et al. Interaction of thin-skinned detached faults and basement-involved strike-slip faults on a transform margin: the Moattama Basin, Myanmar [M]//NEMČOK M, DORAN H, DORÉ A G, et al. Tectonic Development, Thermal History and Hydrocarbon Habitat Models of Transform Margins: Their Differences from Rifted Margins. London: Geological Society of London, 2023, 524(1): SP524-2021-2090.
- [35] KAMESH R K A, RAMPRASAD T, RAO P S, et al. New insights into the tectonic evolution of the Andaman Basin, north-east Indian Ocean[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2004, 221(1): 145-162.
- [36] JOURDAIN A, SINGH S C, ESCARTIN J, et al. Crustal accretion at a sedimented spreading center in the Andaman Sea[J]. *Geology*, 2016, 44(5): 351-354.
- [37] VICTORIEN P, ZUCKMEYER E, BOICHARD R, et al. Evolution of Late Oligocene-Early Miocene attached and isolated carbonate platforms in a volcanic ridge context (Maldives type), Yadana field, offshore Myanmar[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2017, 81: 361-387.
- [38] TEILLET T, FRANÇOIS F, LUCIEN F M, et al. Development patterns of an isolated oligo-mesophotic carbonate buildup, Early Miocene, Yadana Field, offshore Myanmar[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2020, 111: 440-460.
- [39] TEILLET T, FOURNIER F, GISQUET F, et al. Diagenetic history and porosity evolution of an Early Miocene carbonate buildup (Upper Burman Limestone), Yadana Gas Field, offshore Myanmar[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2019, 109: 589-606.
- [40] RACEY A, RIDD M F. Chapter 8: Petroleum geology of the Tanintharyi Region, Myanmar [M]. Petroleum Geology of Myanmar. London : Geological. Society of London Memoirs, 2015, 45(1): 83-91.
- [41] GUO M, LUAN X W, ZHANG H X, et al. Geometric and kin-

- ematic analysis of faults bordering the Andaman Sea continental shelves: a 3D seismic case study[J]. *Frontiers in Earth Science*, 2023, 11: 1247665.
- [42] QIAO J H, LUAN X W, THANUJA D R, et al. Unravelling Cenozoic carbonate platform fluid expulsion: deciphering pock-mark morphologies and genesis in the Tanintharyi Shelf of the Andaman Sea as promising hydrocarbon reservoirs[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2024, 160: 106603.
- [43] LU Y T, SHI B Q, LUAN X W, et al. Fine-grained deep-water turbidite gas reservoirs in upper Bengal Fan[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2023, 158: 106547.
- [44] LU Y, RAN W, XU X, et al. Linear polygonal faults initiated Gully system around the margin slope of Middle Miocene carbonate platform in the northwest South China sea[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2023, 147: 106022.
- [45] POLACHAN S, RACEY A. Stratigraphy of the Mergui Basin, Andaman Sea: implications for petroleum exploration[J]. *Journal of Petroleum Geology*, 1994, 17(4): 373-406.
- [46] LIU J P, STEVEN A K, PIERCE A C, et al. Fate of Ayeyarwady and Thanlwin Rivers sediments in the Andaman Sea and Bay of Bengal[J]. *Marine Geology*, 2020, 423: 106137.
- [47] MORLEY C K, BANDOPADHYAY P C, CARTER A. Cenozoic rifting, passive margin development and strike-slip faulting in the Andaman Sea: a discussion of established v. new tectonic models [M]//The Andaman–Nicobar Accretionary Ridge: Geology, Tectonics and Hazards. London: Geological Society of London, 2017, 47(1): 27-50.
- [48] LUNT P. Partitioned transtensional Cenozoic stratigraphic development of North Sumatra[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2019, 106: 1-16.
- [49] MORLEY C K, MIKE S. Regional tectonics, structure and evolution of the Andaman–Nicobar Islands from ophiolite formation and obduction to collision and back-arc spreading [M]//BANDOPADHYAY P C, CARTER A. The Andaman–Nicobar Accretionary Ridge: Geology, Tectonics and Hazards. London: Geological Society London Memoirs, 2017, 47(1): 51-74.
- [50] RANGIN C, BARBER A J, ZAW K, et al. Active and recent tectonics of the Burma Platelet in Myanmar [M]//Myanmar: Geology, Resources and Tectonics. London: Geological Society of London, 2017, 48(1): 53-64.
- [51] MORLEY C K, ALVEY A. Is spreading prolonged, episodic or incipient in the Andaman Sea? Evidence from deepwater sedimentation[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 98: 446-456.
- [52] BANDOPADHYAY P C, CARTER A. The Andaman–Nicobar Accretionary Ridge: Geology, Tectonics and Hazards [M]. London: Geological Society of London, 2017, 47(1): 75-93.

Characterization and evolution of the Mergui Faults in the Tanintharyi Shelf, Andaman Sea Basin

JIN Long¹, LUAN Xiwu¹, XIAO Fei^{2*}, JIANG Lushan¹, YIN Jian¹, WANG Zijie¹,
WANG Jieyuan¹, YANG Xiao¹, MA Haozhe¹

(1 College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China;

2 Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266237, China)

Abstract: Andaman Sea Basin is a back-arc spreading basin formed by pull-apart action, whose tectonic features and evolutionary mechanism in the eastern part of the basin are essential for understanding the evolution of the Andaman Sea Basin. The structural characteristics and evolution of the eastern part of the basin are of great significance for studying the evolution of the Andaman Sea Basin and the strike-slip faults formed by the oblique subduction of the plate. The stratigraphic structure and tectonic features in the eastern Andaman Sea Basin were analyzed based on 2D and 3D seismic data, and drilling and seismic profile data. The seismic stratigraphic sequences in the eastern Andaman Sea were established. Faults were finely sculpted using automatic 3D seismic layer pickup and seismic attributes. Two major fault zones were identified and named the East Mergui Fault and the West Mergui Fault. The evolution model of the fault zone was established based on the structural analysis. The evolution of the eastern Andaman fault zone could be divided into three phases: the strike-slip and strong extension stage in the Early Miocene, the extensional strike-slip stage in the Middle to Late Miocene, and the right-lateral strike-slip stage from the Pliocene to the present.

Key words: Andaman Sea Basin; Tanintharyi Shelf; Mergui Faults; strike-slip faults; seismic interpretation; tectonic evolution