

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2020050902

南海西缘曾母西断裂构造特征及其对盆地沉积发育的控制作用

杜文波^{1,2}, 邱燕¹, 黄文凯¹, 韩冰¹

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

2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州), 广州 511458

摘要: 通过解释重新处理的曾母盆地多道地震数据, 结合重、磁异常资料, 对前人提出南海西缘最南部发育近 S-N 向“曾母西断裂”的分布区域进行了重新厘定, 详细解释了曾母西断裂的构造特征, 具体分析了其结构、组成和空间展布特征。确定曾母西断裂由①号断层和②号断层所构成, 曾母西①号断层位于 4°30′~7°N、109°30′~110°E, 主断层面倾向 ESE, 走向 NEN, 其为康西拗陷的大型控边断层; 曾母西②号断层分布于 3°~5°N、109°30′~110°30′E, 主断层面倾向 NE, 走向 NNW, 其为塔陶垒坳的大型控边断层, 曾母西①号断裂往南的延伸终止于曾母西②号断裂。同时分析讨论了曾母西断裂的构造活动特征以及对曾母盆地沉积发育的控制作用。

关键词: 构造特征; 沉降速率; 曾母西断裂; 曾母盆地; 南海西缘

中图分类号: P736.1

文献标识码: A

Zengmu Xi fault on the western-border of South China Sea and its control over the sedimentation of the Basin

DU Wenbo^{1,2}, QIU Yan¹, HUANG Wenkai¹, HAN Bing¹

1. Guangzhou Marine Geological Survey, Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510075, China

2. Project for Introduced Talents Team of Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory, Guangzhou 511458, China

Abstract: Reprocessed multi-channel seismic data collected from the Zengmu Basin is interpreted in this paper combined with gravity and magnetic anomaly data. It is confirmed that the “Zengmu Xi Fault” is located in the southernmost part of the western-margin of the South China Sea in a nearly S-N direction. The structural characteristics of the fault, especially its composition and spatial framework, are carefully described and explained. It is found that the Zengmu Xi fault is composed of two faults, the Fault 1 and Fault 2. The Fault 1 is located at 4°30′N~7°00′N, 109°30′~110°E, with a main tendency to ESE, and a strike towards NEN. It is a large boundary controlling fault of the Kangxi Depression, while the fault 2 is distributed between 3° and 5°N, 109°30′E and 110°30′E, with a main fault tendency to NE and a strike towards NNW. It is a large boundary controlling fault of the Tatao horst graben. The southward extension of Zengmu Xi fault 1 ends when it meets the fault 2. Upon the basis, the characteristics of the tectonic activity of the Zengmu Xi fault and its control over the depositional evolution of the Zengmu basin are analyzed and discussed.

Key words: structural characteristic; subsidence rate; Zengmu Xi fault; Zengmu Basin; western-margin of the South China Sea

中生代以来南海经历了多次构造运动, 形成了大量性质各异、规模不一、纵横交错的断裂, 这些断裂体系是南海海域构造格局的组成部分。邱燕等通过解释实测地震剖面, 并结合重、磁异常资料进行分析, 对比了南海西缘断裂带的构造特征之后, 首次提出在南海西缘的最南部发育近 S-N 向

“曾母西断裂”^[1]。由于受资料限制, 前人对“曾母西断裂”的构造特征缺乏深入研究。近年来随着调查的深入, 笔者发现前人确定的“曾母西断裂”所在位置存在误差, 需要进一步分析厘定, 同时认为其对断裂构造特征的分析有待商榷, 因此有必要对“曾母西断裂”进一步分析。期望本文通过重新处

资助项目: 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项(GML2019ZD0207); 中国地质调查局项目“南海文昌和东方海域 1:25 万海洋区域地质调查”(DD20190627), “南部海域 1:100 万海洋区域地质调查成果与应用研究”(DD20160138), “南海永兴岛海域 1:5 万海洋区域地质调查”(DD20190209), “中国大地构造演化和国际亚洲大地构造图编制(广州海洋地质调查局)”(DD20190366)

作者简介: 杜文波(1986—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事地震沉积学、层序地层学和海洋地质等研究, E-mail: superdwb@outlook.com

通讯作者: 邱燕(1956—), 女, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事石油地质、海洋地质和构造地质学研究, E-mail: zqiuayan60@163.com

收稿日期: 2020-05-09; **改回日期:** 2020-09-24。 周立君编辑

理解释有关地震数据,并结合最新的调查资料,能够更加精准地分析曾母西断裂的发育状况和分布范围,同时能够对其构造活动特征以及对曾母盆地沉积发育的控制作用进行更为深入的分析,所获得的认识能为深入研究南海的构造演化提供有价值的参考。

1 区域地质背景

南海是西太平洋最大的边缘海,地处欧亚、太平洋、印-澳三大板块的交汇处,其大地构造演化主要受控于三大板块的相对运动与相互作用。中、新生代以来,南海经历了板块的俯冲、碰撞、挤压、走滑等一系列构造作用,形成了菱形的海盆及 4 条具有特点的构造边缘^[2-4]。南海的断裂构造系统可分为南海北缘断裂系、西缘断裂系、南缘断裂系、东缘断裂系和中部断裂系共 5 个断裂体系^[1]。本文所讨论的曾母西断裂位于南海的西部边缘的最南部,比较接近南缘断裂系,是南海西缘断裂系的主要断裂带之一,对发育于南海西南缘的曾母盆地的构造具有重要的控制作用。

1.1 西缘主要断裂

西缘断裂位于南海西部,贯穿整个南海西部边

缘,作为区域性的大型断裂带控制着南海西部区域地质构造的演化与发展,其次生的中、小型断裂控制或改造了盆地内部次级构造单元的形成和发育。南海西缘断裂系的断裂性质大多以张性活动为主,伴有不同程度的走滑拉分特征,平面分布自北而南主要有红河断裂系、南海西缘断裂、万安东断裂和曾母西断裂^[5-7]。

1.2 南缘主要断裂

南海南部主要发育新生代后期因挤压活动而形成的不同性质的断层,著名的断裂有 NW 向的廷贾断裂以及呈弧形展布的卢帕尔断裂。廷贾断裂位于曾母盆地东北侧,是一条巨大的走滑断裂,平面上由一组北西向斜列断层组成,派生断裂具花状构造。卢帕尔断裂主体位于曾母盆地以南的纳土纳-婆罗洲褶皱增生带内,呈弧形展布,沿断裂出露中生代蛇绿混杂岩,被解释为南沙块体与婆罗洲之间两次俯冲-碰撞事件形成的缝合线^[8-9](图 1)。

1.3 曾母盆地发育特征

曾母盆地位于南沙西南海域纳土纳岛以东、南沙海槽以西、万安滩-北康暗沙以南,北邻北康盆地,由于受各期构造运动的影响,盆地内断裂发育,并伴有新生代岩浆侵入和喷发活动^[10-12]。曾母盆地

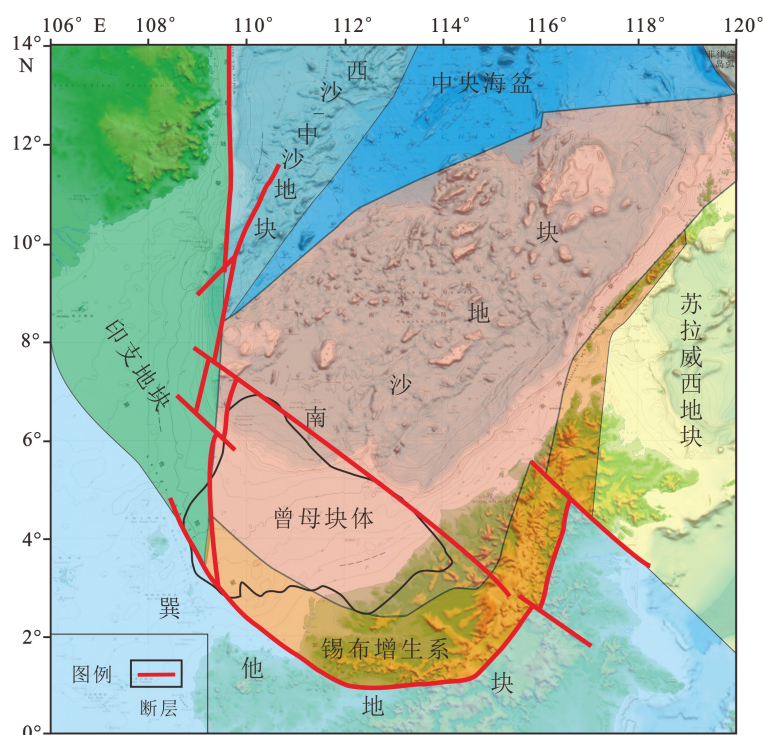


图 1 研究区位置图

Fig.1 The location of the study area

不同部位的构造、沉积特征和基底性质有所不同,南部为变形的古近系及基底岩层,北部的基底与南沙群岛诸盆地的基底相似,因此,可以分为8个次级构造单元^[8](图2):①索康坳陷、②拉奈隆起、③塔陶垒堑、④西巴林坚隆起、⑤东巴林坚坳陷、⑥南康台地、⑦康西坳陷、⑧西部斜坡。曾母盆地主要发育始新统一渐新统、新近系和第四系,地层沉积厚约2 000~16 000 m,下中新统及以上的沉积盖层厚2 000~4 000 m,总体北厚南薄^[13-15]。

2 数据来源和方法

本次研究所使用的高分辨率多道地震资料由广州海洋地质调查局地球物理勘探船“奋斗四号”在20世纪90年代末所采集,采集参数为:接收道数96,道间距25 m,覆盖次数24次,炮间距50 m,最小偏移距250 m,采样率2 ms,记录长度7s,震源容量2 821Cu.in,排列长度2 625 m,震源沉放深度8 m,电缆沉放深度12 m,测网密度为40 km×80 km。重处理所用关键技术包括叠前多域综合去噪技术、组合多次波压制技术、振幅补偿技术、Tau-P反褶积、零相位反褶积技术、复杂区速度建模技术、弯曲射线叠前时间偏移技术等,所获得的多道地震剖面的质量和精度完全满足本研究的需要。最后利用斯伦贝谢公司开发的地震资料综合解释软件Geoframe,建立解释数据库。本文空间重力异常图、布格重力

异常和磁异常图采用的是广州海洋地质调查局2015年公开出版的南海地质地球物理图系中的图件。

3 曾母盆地地层格架

依据国外石油公司在曾母盆地南部、索康坳陷和南康台地所实施的钻井揭示的化石带和岩性、沉积岩性资料,对比区域地震剖面的追踪解释结果,建立曾母盆地层序地层格架。在曾母盆地的地震剖面上解释了T₁、T₂、T₂¹、T₃、T₃¹、T₄、T₅、T_g共8个反射界面,相应地划分了8个地震层序。层序对应的沉积地层自下而上:T₅-T_g为下一中始新统、T₄-T₅为上始新统一下渐新统、T₃¹-T₄为上渐新统、T₃-T₃¹为下中新统、T₂¹-T₃为中中新统、T₂-T₂¹为上中新统、T₁-T₂为上新统、T₁以上为第四系(表1)。

4 曾母西断裂特征

据多道地震剖面 and 重磁资料等综合分析结果可知,曾母西断裂由两条断裂所组成,笔者将这两条断裂分别命名为曾母西①号断裂和②号断裂,其中曾母西①号断裂位于4°30′~7°N、109°30′~110°E之间,全长约270 km,走向NNW;曾母西②号断裂位于3°~5°N、109°30′~110°30′E之间,全长约260 km,走向NNW。

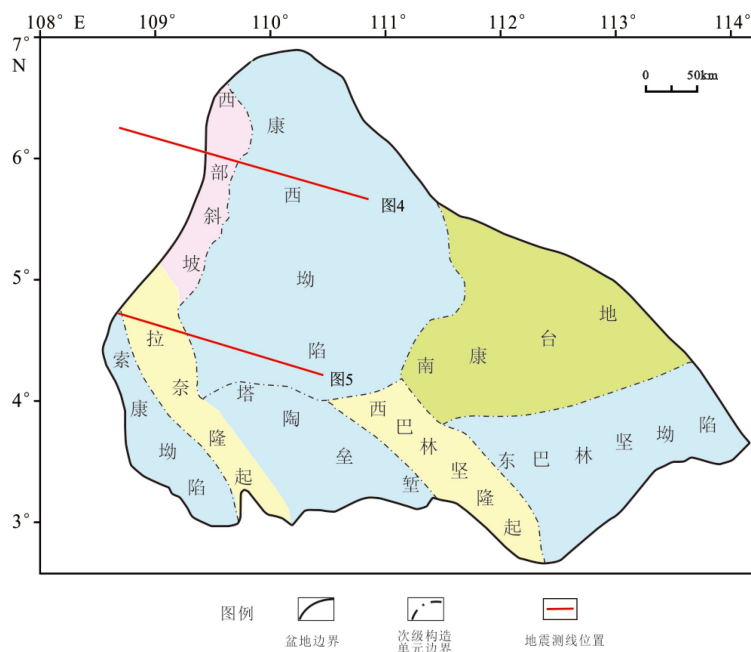
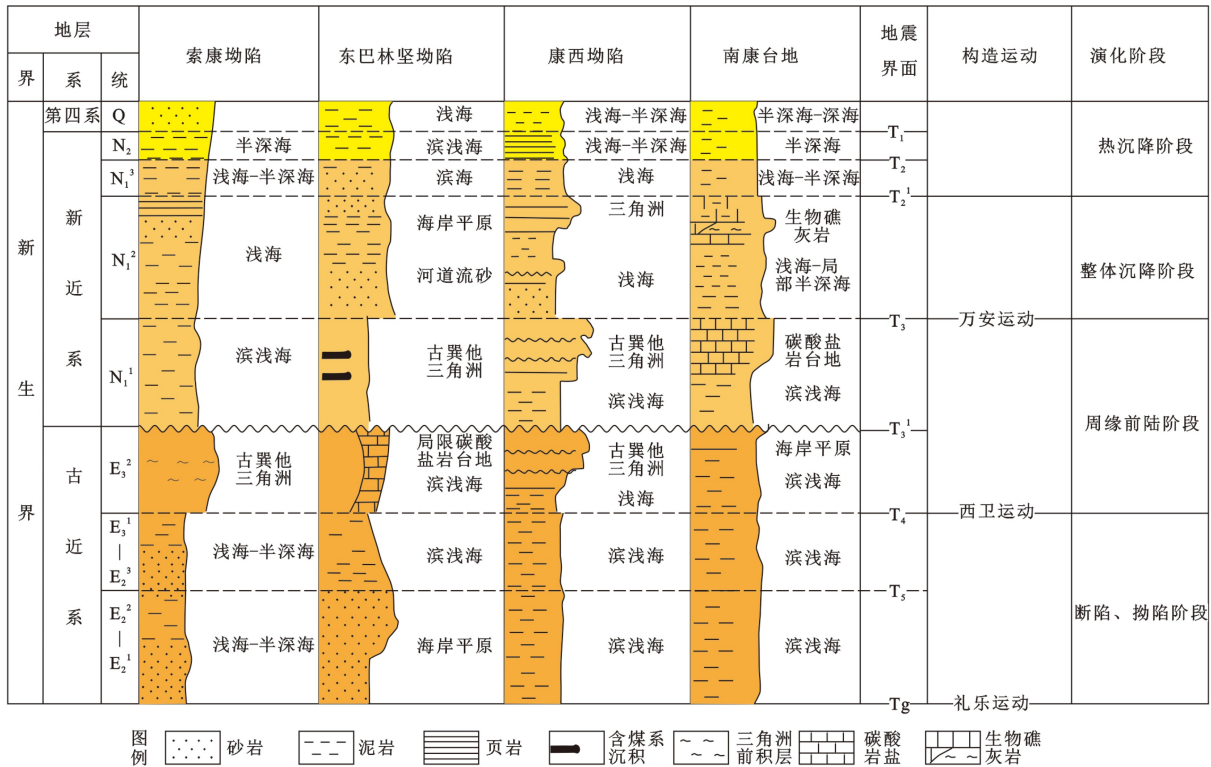


图2 曾母盆地次级构造单元划分与断裂分布图
Fig.2 Division of tectonic units of the Zengmu Basin

表 1 曾母盆地各坳陷地层综合柱状图
Table 1 Regional stratigraphic integrative column of the Zengmu Basin



4.1 曾母西①号断裂

分布于曾母盆地次级构造单元康西坳陷和西部斜坡之间。地震剖面显示(图 3), 曾母西①号断裂具不典型的花状构造特征, 主断层面倾向 ESE。分析剖面特征得知, 往盆地中心方向发育若干条与曾母西①号主断裂倾向相同、规模较小的正断层, 往康西坳陷的中心略呈阶梯状下降。剖面上可见大多数断层呈上陡下缓的犁式展布, 推测这些断层是曾母西①号断裂的派生断层。在空间重力异常图(图 4)中, 曾母西①号断裂的分布位置基本是平缓低值正异常(0~30×10⁻⁵ m/s²)和平缓低值负异常(-10×10⁻⁵ m/s²)的分界线, 但是断层北段以东为空间重力正异常, 以西为负异常; 反之, 断层南段以东为空间重力负异常, 以西为正异常, 尽管中部切穿一条北西走向、异常值大致为(20~30)×10⁻⁵ m/s² 低值正异常带, 但是仔细分析发现, 断层在该部位依然是不同异常值的分界。如图 4 所示, 断层所经过的中部低值正异常带在断层的两侧是有所不同的, 断层的西侧异常值整体大于 30×10⁻⁵ m/s², 而在断层东部异常值整体小于 30×10⁻⁵ m/s², 可见空间重力异常图上曾母西①号断裂位置的确定有据可循。在布格异常图上(图 5), 断裂的走向与布格异常等值线走向趋势并不相同, 无明显的断裂分布特征。在

磁异常图上(图 6)与空间重力异常图有些相似, 即曾母西①号断裂基本是低值正磁异常和负磁异常的分界线, 只是断层北段以东为负磁异常, 磁异常等值线较为密集, 以西为宽缓的正磁异常; 反之, 断层南段以东为宽缓的正异常, 以西为走向 WNW、不明显的正负伴生异常。

4.2 曾母西②号断裂

分布于塔陶垒堑和拉奈隆起之间, 大致为这两个次级构造单元的分界线, 曾母西①号断裂的南端在此被该断层所阻。地震剖面显示(图 3), 该断层具不典型的花状构造特征, 主断层面倾向 NE, 不同地段断面倾向稍有变化, 使断层在平面上稍呈扭曲延伸。断层上盘沉积厚度巨大, 断层下盘沉积层很薄, 具有生长断层性质, 是明显的控拗边界断层(图 3)。在空间重力异常图(图 4)中, 曾母西②号断裂所在位置其背景为宽缓的低值正重力异常区, 一般为(10~20)×10⁻⁵ m/s², 仅断层的北端为低值正、负异常的分界。在布格重力异常图上(图 5), 曾母西②号断裂表现为东、西不同异常场的分界线, 西侧为呈北西向条带状数值偏大的正异常, 一般为 25×10⁻⁵ m/s², 东侧为数值偏小低值异常带, 一般为 10×10⁻⁵ m/s²。在磁异常图中(图 6), 曾母西②号断裂基本上是极低值正异常和极低值负异常的分界, 但

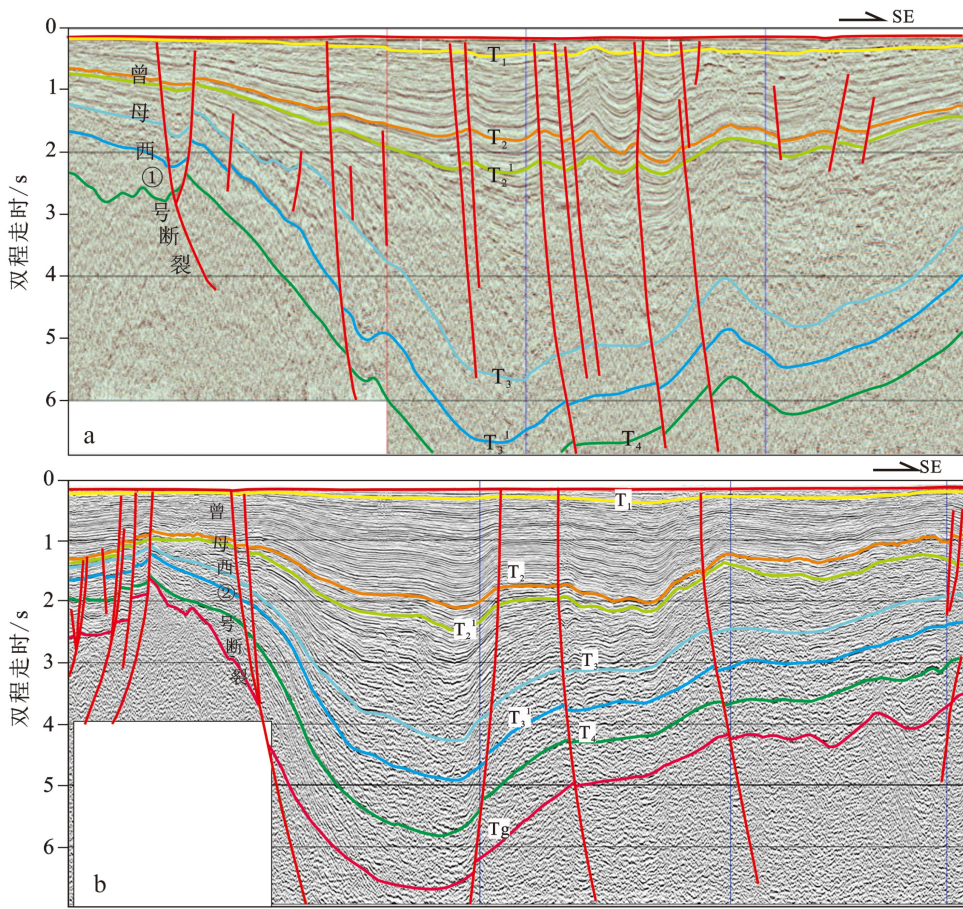


图3 曾母盆地地震反射界面解释的地层结构
地震测线位置见图2。

Fig.3 A selected seismic profile showing the Cenozoic structure of the Zengmu Basin

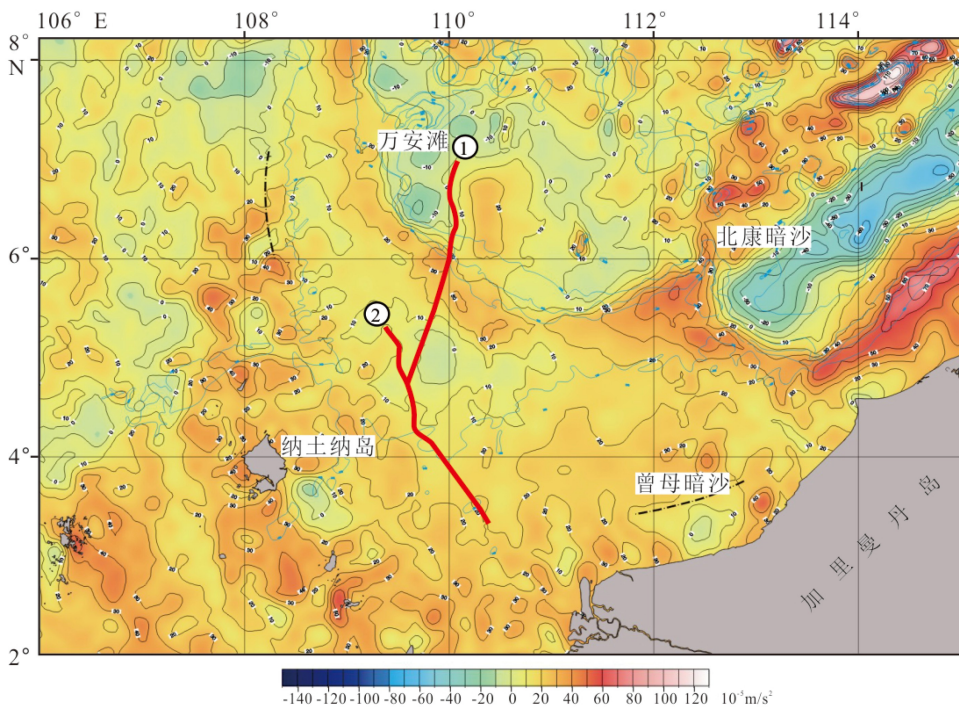


图4 曾母西断裂空间重力异常特征

Fig.4 Map of free air gravity anomalies of the Zengmu Xi fault

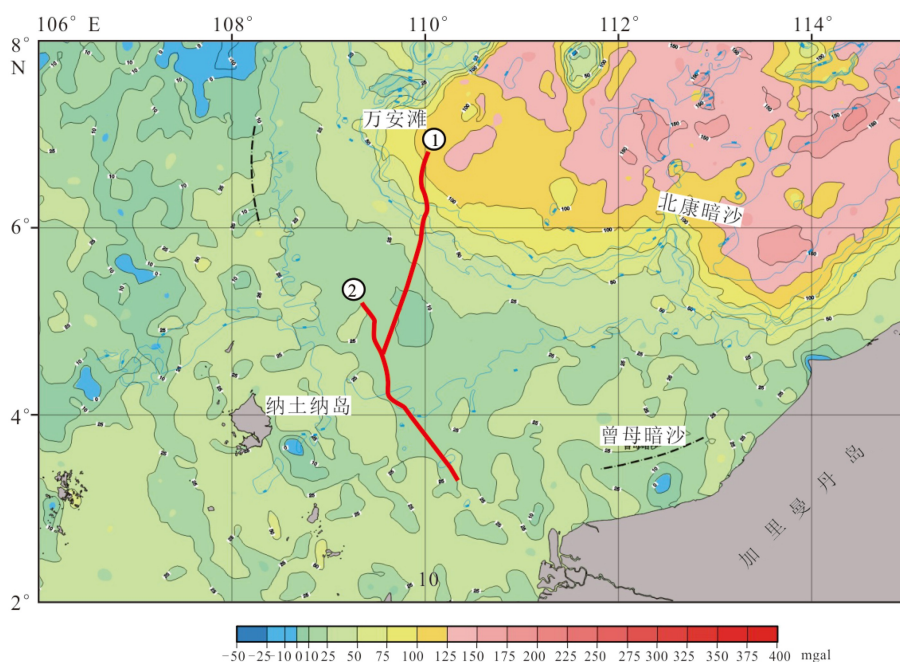


图 5 曾母西断裂布格重力异常特征

Fig.5 Characteristics of Bouguer gravity anomaly of the Zengmu Xi fault

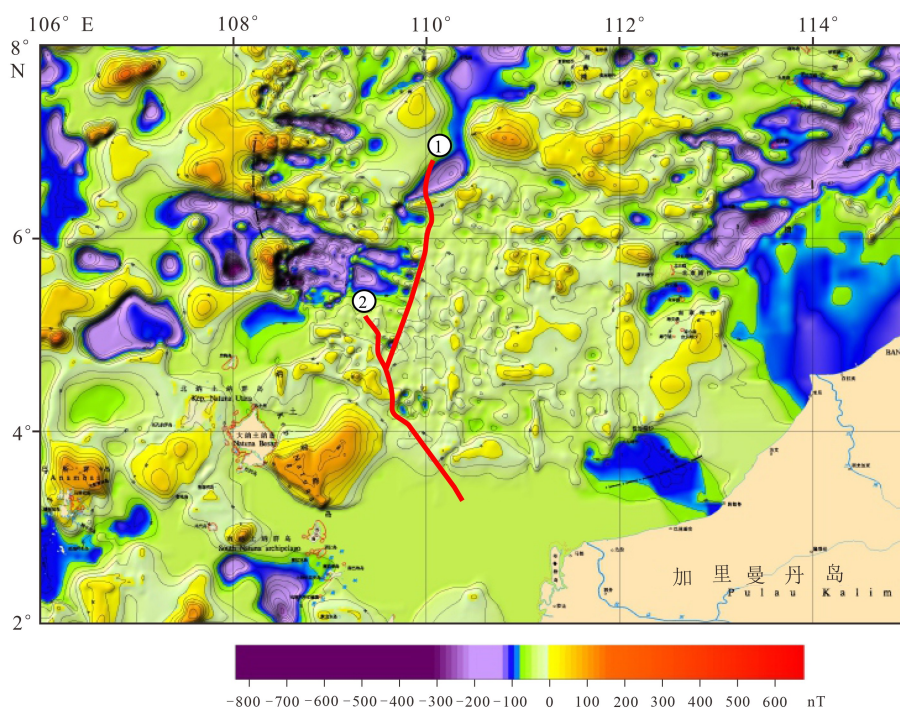


图 6 曾母西断裂磁力异常特征

Fig.6 Characteristics of Magnetic gravity anomaly of the Zengmu Xi fault

趋势不明显。

5 曾母西断裂特征与分布的重新厘定

邱燕等认为曾母西断裂由两条走向 S-N 断层组成, 分布于 4°~6°30'N、109°~110°30'E 之间, 中间被一条走向 NW 的断层所错断, 部分断层构成该盆

地次级构造单元拉奈隆起和索康坳陷的分界^[1]。但是通过本文分析得知, 曾母西断裂并非由两条大致 S-N 走向的断裂组成, 而是由走向 NNE、倾向 ESE 的曾母西①号断裂和走向 NNW、倾向 NE 的曾母西②号断裂。其分布范围与原来认定的位于 4°~6°30'N、109°~110°30'E 之间也有所出入, 即曾母西①号断裂位于 4°30'~7°N、109°30'~110°E 的范

围内,曾母西②号断裂位于 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}\text{N}$ 、 $109^{\circ}30'\sim 110^{\circ}30'\text{E}$ 之间,曾母西①号断裂往南的延伸终止于曾母西②号断裂。鉴于此,本文重新厘定了曾母西断裂在该断裂图上的分布特征,并修改了南海南部断裂体系图^[1](图7)。从图7可知,曾母西①号断裂北端终止于走向NW的廷贾断裂,南端与曾母西②号断裂相交;曾母西②号断裂北端被一条北东走向的断层所截,推测其南端如果继续延长可能终止于卢帕尔断裂。

6 曾母西断裂对盆地沉积的控制作用

曾母盆地是在块体汇聚带上发育的周缘前陆盆地,特殊的构造位置使其经历了复杂的演化过程^[16-18]。最新的研究成果表明,晚白垩世时期,古南海位于曾母盆地所在的卢卡尼亚地块与婆罗洲地块之间,不断向南俯冲。晚始新世时期,随着古南海的俯冲,曾母盆地局部发生裂陷作用^[19]。曾母盆地在渐新世—第四纪经历了两期构造演化阶段,分别是渐新世—早中新世的断拗期和中新世—第四纪的拗陷期,两期的区域构造断裂活动形式有所不同。断裂的发育过程不仅控制了盆地的演化,而且决定了盆地的沉积格局^[20-22]。本文在对曾母西断层活动性分析的基础上,结合区域地质背景、地层展布特征等因素,进一步分析曾母西断裂对盆地沉积发育的控制作用。

6.1 曾母西①号断裂对康西拗陷沉积发育的控制作用

盆地发育早期,碰撞产生的构造负载和沉积负载成为盆地沉降的主要因素,控制着盆地持续稳定

的发展^[18],在区域拉张背景下,早期形成的断裂张性活动普遍加强,曾母西①号断裂在早期断裂的基础上发育。地震剖面显示(图3),曾母西①号断裂为康西拗陷的大型控边断层,控制了该拗陷古近纪和新近纪的沉积。对康西拗陷沉积构造格局的形成起着决定性作用。古近纪($T_3^1-T_g$)时期,该断层面上盘的沉积厚度明显大于下盘,显示为同生断层的作用。 $T_3-T_3^1$ 和 $T_2^1-T_3$ 时期该断裂活动加剧,断层上、下盘显示出更为明显的沉积厚度差异,说明此时曾母西①号断层活动强度加大,使康西拗陷成为快速沉降区,总沉降速率分别为460和480 m/Ma,构造沉降速率分别为220和200 m/Ma(图8a)。上新世(T_1-T_2)时期地层受断层作用很小,构造活动平静,变形微弱,地层呈水平或近水平状分布,但局部出现褶皱变形特征。此时总沉降速率达最高值,为1580 m/Ma,构造沉降速率达400 m/Ma(图8a),暗示当时热沉降幅度非常大。第四纪(T_0-T_1)以来,盆地处于稳定沉积状态,形成了一套产状平缓、连续性好的沉积层。

6.2 曾母西②号断裂对塔陶垒堑沉积发育的控制作用

分析地震剖面得知(图3),曾母西②号断裂为基底断裂,断距较大,是塔陶垒堑的大型控边断层,对塔陶垒堑沉积构造格局的形成起着决定性作用。古近纪以来该断层活动逐渐加剧,形成塔陶垒堑厚度较大的拗陷,古近系地震反射特征比较稳定,地层略有褶皱变形特征,断裂上盘的沉积厚度明显大于下盘;新近纪以来随着海平面持续上升,塔陶垒堑进一步持续沉降,接受大规模沉积^[19-21],发育了一套以海进为主的滨海—浅海相地层。中

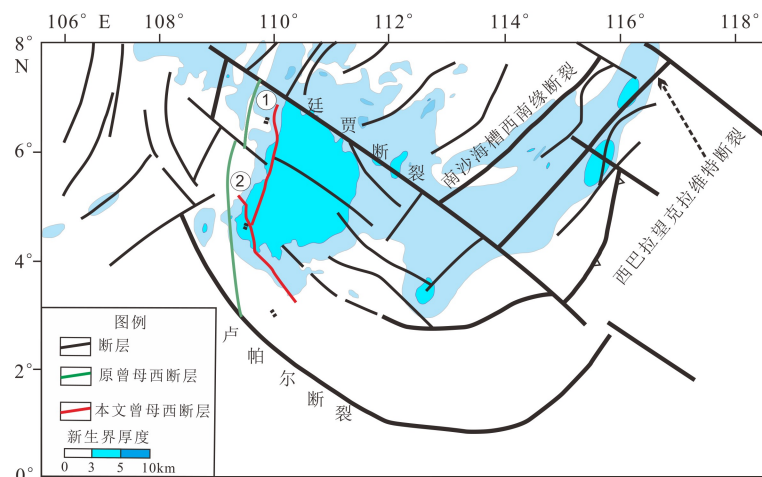
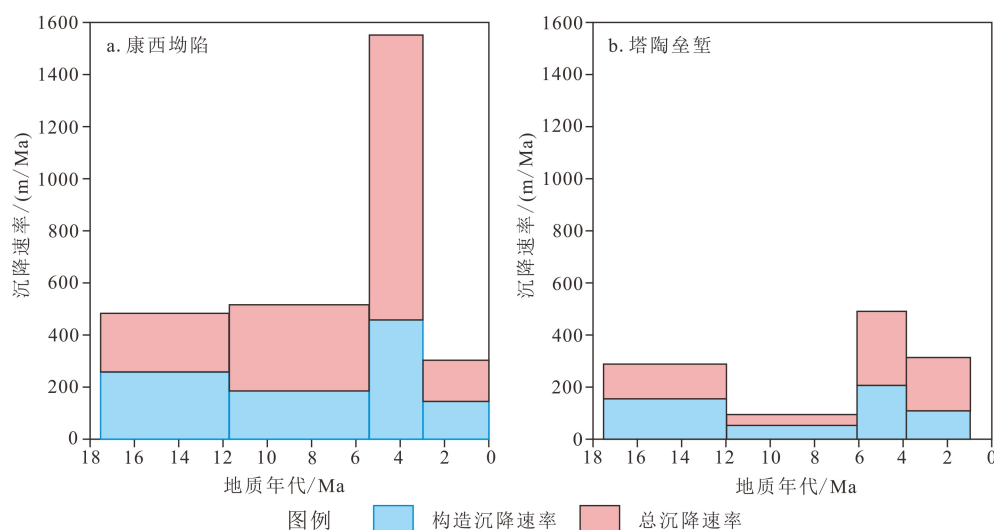


图7 南海南部断裂体系图^[1]

Fig.7 Fault system map of the southern South China Sea^[1]

图 8 曾母盆地坳陷新生代沉降速率直方图^[8]Fig.8 Histogram of subsidence rate of depressions in Cenozoic in the Zengmu Basin^[8]

新世(T_2^1 - T_3)塔陶坳陷沉积地层为一套中—低频、变振幅、中—高连续反射层组,顶部被 T_2^1 削截,受构造作用影响,其沉积中心厚度较大,向隆起两侧厚度逐渐减薄,与康西坳陷相比,塔陶坳陷中中新世沉积速率较小,总沉降速率为210 m/Ma,构造沉降速率为130 m/Ma(图8b)。晚中新世(T_2 - T_2^1)沉降速率最低,总沉降速率仅50 m/Ma左右,构造沉降速率约占总沉降速率的50%;上新世(T_1 - T_2)断裂活动减弱,地层产状逐渐趋于水平,沉降速率有所增加,达到510 m/Ma,构造沉降速率为200 m/Ma(图8b)。

第四纪(T_0 - T_1)以来,康西坳陷和塔陶坳陷的总沉降速率大致相同,约为300 m/Ma,构造沉降速率约为180 m/Ma^[8](图8),形成了一套产状平缓、连续性好的沉积层,暗示曾母西①号断裂和曾母西②号断裂的活动已经基本停止,盆地沉积作用趋于稳定。

7 结论

(1)重新厘定的南海西缘断裂系中位于最南部的“曾母西断裂”由两条断裂所组成,即曾母西①号断裂和②号断裂。曾母西①号断裂位于 $4^{\circ}30' \sim 7^{\circ}N$ 、 $109^{\circ}30' \sim 110^{\circ}E$ 的范围内,主断层面倾向ESE,具不典型的花状构造特征。曾母西②号断裂位于 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}N$ 、 $109^{\circ}30' \sim 110^{\circ}30'E$ 之间,主断层面倾向NE,不同地段断面倾向稍有变化,具不典型的花状构造特征。依次修正了在南海断裂体系图上的“曾母西断裂”的分布区域。

(2)曾母西①号断层为曾母盆地二级构造单元康西坳陷的大型控边断层,控制其古近系乃至新近

系的沉积,对康西坳陷的沉积和构造格局的形成起了决定性作用;曾母西②号断裂是切穿基底的断裂,两侧的沉积厚度特征反映其为曾母盆地二级构造单元塔陶坳陷的大型控边断层,控制其古近系乃至新近系的沉积,对塔陶坳陷的沉积和构造格局的形成起着决定性作用。

参考文献 (References)

- [1] 邱燕, 王立飞, 黄文凯, 等. 中国海域中生代沉积盆地[M]. 北京: 中国地质出版社, 2016. [QIU Yan, WANG Lifei, HUANG Wenkai, et al. Sedimentary Basins in Mesozoic and Cenozoic in the China Sea[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2016.]
- [2] Hall R. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2002, 20(4): 353-431.
- [3] 李文勇, 李东旭. 中国南海不同板块边缘沉积盆地构造特征[J]. *现代地质*, 2006, 20(1): 19-29. [LI Wenyong, LI Dongxu. Tectonic characteristics on the sedimentary Basins with different plate margins in the South China Sea [J]. *Geoscience*, 2006, 20(1): 19-29.]
- [4] Golonka J, Krobicki M, Paja K J, et al. Global Plate Tectonics and Paleogeography of Southeast Asia[M]. Arkadia, Kraków: Ministry of the Environment, 2006: 119-127.
- [5] 刘宝明, 夏斌, 李绪宣, 等. 红河断裂带东南的延伸及其构造演化意义[J]. *中国科学 D辑: 地球科学*, 2006, 36(10): 914-924. [LIU Baoming, XIA Bin, LI Xuxuan, et al. Southeastward extension of the Red River Fault Zone and implication for its tectonic evolution significance [J]. *Science in China (Series D) Earth Sciences*, 2006, 36(10): 914-924.]
- [6] 高红芳. 南海西缘断裂带走滑特征及其形成机理初步研究[J]. *中国地质*, 2011, 38(3): 537-543. [GAO Hongfang. A tentative discussion

- on strike-slipping character and formation mechanism of western-edge fault belt in South China Sea [J]. *Geology in China*, 2011, 38(3): 537-543.]
- [7] 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.]
- [8] 邱燕. 南沙海域曾母盆地构造样式特征及其与油气聚集和圈闭的关系[J]. *地质通报*, 2005, 24(1): 16-22. [QIU Yan. Typical structural styles and their relationships with hydrocarbon accumulation and traps in the Zengmu Basin, Nansha sea area [J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(1): 16-22.]
- [9] 邱燕, 陈国能, 解习农, 等. 南海西南海域曾母盆地新生代沉积充填演化研究[J]. *热带海洋学报*, 2005, 24(5): 43-52. [QIU Yan, CHEN Guoneng, XIE Xinong, et al. Sedimentary filling evolution of Cenozoic strata in Zengmu Basin, Southwestern South China Sea [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2005, 24(5): 43-52.]
- [10] 陈玲. 南沙海域曾母盆地西部地质构造特征[J]. *石油地球物理勘探*, 2002, 37(4): 354-362. [CHEN Ling. Geologic structural feature in the west of Zengmu Basin, Nansha sea area [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2002, 37(4): 354-362.]
- [11] 郭佳, 谢晓军, 刘世翔, 等. 南海曾母盆地新生代沉积体系特征[J]. *中国石油勘探*, 2016, 21(4): 99-107. [GUO Jia, XIE Xiaojun, LIU Shixiang, et al. Cenozoic sedimentary systems in Zengmu Basin, South China Sea [J]. *China Petroleum Exploration*, 2016, 21(4): 99-107.]
- [12] 姜绍仁, 周效中, 黄慈流, 等. 南海曾母盆地地质构造特征及演化历史[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1990, 10(1): 25-36. [JIANG Shaoren, ZHOU Xiaozhong, HUANG Ciliu, et al. Zengmu Basin: geologic structure and evolution [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1990, 10(1): 25-36.]
- [13] Hutchison C S. Marginal basin evolution: the southern South China Sea [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2004, 21(9): 1129-1148.
- [14] 钟广见, 王嘹亮. 南海西南部新生代盆地类型及演化历史[J]. *海洋湖沼通报*, 1996(2): 24-32. [ZHONG Guangjian, WANG Liaoliang. The types of Cenozoic basin in the southwest of South China Sea and their evolution [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1996(2): 24-32.]
- [15] 林珍. 南沙中部海域北康-曾母盆地重磁异常特征及解释[J]. *物探与化探*, 2003, 27(4): 263-268. [LIN Zhen. Characteristics and interpretation of gravity and magnetic anomalies in the Beikang Zengmu Basin of central Nansha islands [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2003, 27(4): 263-268.]
- [16] 安慧婷, 李三忠, 索艳慧, 等. 南海西部新生代控盆断裂及盆地群成因[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2012, 32(6): 95-111. [AN Huiting, LI Sanzhong, SUO Yanhui, et al. Basin-controlling faults and formation mechanism of the Cenozoic basin groups in the western south China Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2012, 32(6): 95-111.]
- [17] 张功成, 谢晓军, 王万银, 等. 中国南海含油气盆地构造类型及勘探潜力[J]. *石油学报*, 2013, 34(4): 611-627. [ZHANG Gongcheng, XIE Xiaojun, WANG Wanyin, et al. Tectonic types of petroliferous basins and its exploration potential in the South China Sea [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2013, 34(4): 611-627.]
- [18] 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 Bochun, 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.]
- [19] 蔡利飘, 周娟. 银川盆地断裂体系发育特征及其对盆地的控制作用[J]. *油气地球物理*, 2018, 16(2): 53-59. [CAI Lipiao, ZHOU Juan. Development characteristics of the fault system in Yinchuan Basin and its control action on the Basin [J]. *Petroleum Geophysics*, 2018, 16(2): 53-59.]
- [20] 朱晨曦. 南海南部断裂及前新生代基底岩性分布特征[D]. 吉林大学硕士学位论文, 2019. [ZHU Chenxi. Characteristics of fault and distribution of Pre-Cenozoic basement lithology in Southern South China Sea[D]. Master Dissertation of Jilin University, 2019.]
- [21] 刘海龄, 杨树康, 周蒂, 等. 南沙北部伸展构造的基本特征及其动力学意义[J]. *高校地质学报*, 1998, 4(1): 64-72. [LIU Hailing, YANG Shukang, ZHOU Di, et al. Basic characteristics of extension structure in northern Nansha islands, China, and its dynamical implications [J]. *Geological Journal of China Universities*, 1998, 4(1): 64-72.]
- [22] 杨木壮, 吴进民. 曾母盆地地层发育特征[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1996, 17(1): 18-27. [YANG Muzhuang, WU Jinmin. The stratigraphy of Zengmu Basin [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1996, 17(1): 18-27.]