

doi: 10.12029/gc20200510

徐子英,汪俊,高红芳,姚永坚,朱荣伟,唐江浪,聂鑫,孙美静. 2020. 中沙地块南部断裂发育特征及其成因机制[J]. 中国地质, 47(5): 1438–1446.

Xu Ziyang, Wang Jun, Gao Hongfang, Yao Yongjian, Zhu Rongwei, Tang Jianglang, Nie Xin, Sun Meijing. 2020. The characteristics and formation mechanism of the faults in the southern part of the Zhongsha Bank[J]. Geology in China, 47(5):1438–1446(in Chinese with English abstract).

中沙地块南部断裂发育特征及其成因机制

徐子英^{1,2},汪俊^{1,2},高红芳^{1,2},姚永坚^{1,2},朱荣伟^{1,2},唐江浪¹,聂鑫¹,孙美静¹

(1. 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,广东广州 510075;
2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州),广东广州 511458)

摘要:利用最新多道地震剖面资料,结合重力、磁力、地形等地球物理资料,揭示了中沙地块南部断裂空间展布特征、断裂发育时期、断裂内部构造形变特征及深部地壳结构,并基于认识探讨了断裂的发育机制。研究结果认为,中沙地块南部陆缘构造属性为非火山型被动大陆边缘:地壳性质从西北向东南由减薄陆壳向洋陆过渡壳再向正常洋壳发育变化;Moho 面埋深从中沙地块下方的 26 km 快速抬升到海盆的 10~12 km;从中沙地块陡坡至其前缘海域的重力异常明显负异常区为洋陆过渡带,在重力由高值负异常上升到海盆的低值正、负异常的边界为洋陆边界。中沙地块南部发育有 4 组阶梯状向海倾的深大正断裂,主要发育时期为晚渐新世到中中新世。断裂早期发育与南海东部次海盆近 NS 向扩张有关,后期遭受挤压变形、与菲律宾海板块向南海的 NWW 向仰冲有关。该研究有助于更好认识南海海盆的扩张历史和南海被动大陆边缘的类型。

关键词:断裂特征;发育机制;深部结构;海洋地质调查工程;中沙地块;南海海盆

中图分类号:P542.3;P736.1 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2020)05-1438-09

The characteristics and formation mechanism of the faults in the southern part of the Zhongsha Bank

XU Ziyang^{1,2}, WANG Jun^{1,2}, GAO Hongfang^{1,2}, YAO Yongjian^{1,2}, ZHU Rongwei^{1,2},
TANG Jianglang¹, NIE Xin¹, SUN Meijing¹

(1. Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Natural Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, Guangdong, China; 2. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou 511458, Guangdong, China)

Abstract: On the basis of the latest multi-channel seismic profiles and geophysical data such as gravity, magnetism and topography, the spatial distribution characteristics of faults, the development period of faults, the internal structural deformation feature of faults and deep crustal structure in the southern Zhongsha Bank (ZB) were revealed, and the formation mechanism of the faults was also discussed. The results show that the tectonic property of the southern continental margin of ZB is non-volcanic passive continental

收稿日期: 2020-04-03; 改回日期: 2020-07-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41606080, 41576068)、广东省自然科学基金项目(2017A030312002)、中国地质调查局国家海洋专项项目(GZH201400202, DD20160138, DD20190378, 1212011220117, 1212011220116, DD20190366, DD20190577, DD20190209, DD20190216, GZH201400203)及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(GML2019ZD0208)联合资助。

作者简介: 徐子英,女,1981年生,博士,高级工程师,主要从事地质构造分析及物理模拟研究;E-mail:ziyang06@scsio.ac.cn。

margin. From northwest to southeast, the crustal properties change from thinned continental crust to oceanic–continental transitional crust and then to normal oceanic crust. The depth of Moho discontinuity rises rapidly from 26 km beneath the ZB to 10–12 km beneath the ocean basin. The obvious negative gravity anomaly area from the steep slope of the ZB to the coast front is the oceanic–continental transitional zone, and the boundary of gravity anomaly change from high value negative anomaly to low value positive and negative anomaly in the ocean basin is the oceanic–continental boundary. There are four sets of deep and large normal faults with stepped sea–dipping in the southern part of the ZB, which were mainly developed in the Late Oligocene to the Middle Miocene. The early extension of the fault development mechanism was related to the NS–trending extension of the sub–basin in the eastern South China Sea (SCS), and the later compressive stress was related to the NW–trending subduction of the Philippine plate towards the SCS. This study is helpful to the better understanding of the expansion history of the South China Sea basin and the types of passive continental margins in the SCS.

Key words: fault characteristics; formation mechanism; deep structure; marine geological survey engineering; Zhongsha Bank; South China Sea basin;

About the first author: XU Ziyang, female, born in 1981, doctor, senior engineer, mainly engages in tectonic analysis and analogue modeling. E–mail: ziyangx06@scsio.ac.cn.

Found support: National Natural Science Foundation of China (No.41606080, No.41576068); Natural Science Foundation of Guangdong Province, China (No.2017A030312002); China Geological Survey Program (No. GZH201400202, No.DD20160138, No.DD20190378, No.1212011220117, No.1212011220116, No.DD20190366, No.DD20190577, No.DD20190209, No.DD20190216, No.GZH201400203); Key Special Project for Introduced Talents Team of Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou)(No. GML2019ZD0208).

1 引言

南海是西太平洋最大的边缘海之一,新生代经历了大陆边缘张裂、破裂和南海扩张阶段,海盆整体呈菱形,分为西北次海盆、西南次海盆和东部次海盆(图1)。

中沙地块地处南海海盆西侧,总体呈NE走向,三面被3个次海盆包围,它北靠西北次海盆,东临东部次海盆,南接西南次海盆,西侧为中沙海槽盆地(图1)。前人认为中、西沙群岛基底具有相似性,即为寒武纪变质岩基底(刘建华等,1986;孙嘉诗,1987;郝天珧等,2011),金翔龙(1989)则根据中沙地块北部拖网的样品K–Ar法测年为117~128 Ma,认为该区前新生代沉积变质时期为早白垩世中晚期。新生代以前,该古老基底露在水面,遭受剥蚀;新生代时期由于南海的多期次扩张,中沙地块开始沉降,接受沉积。因此中沙地块的形成与南海海盆的扩张密切相关。

中沙地块南部坡度较陡,地壳性质由减薄的陆壳向洋壳过渡,断裂非常发育,目前,仅有少数学者对中沙地块西侧的中沙海槽盆地展开过盆地基底、重、磁特征,深部结构等部分研究(刘建华等,1986;

万玲等,2006;郝天珧等,2011;赵斌等,2019;Huang et al.,2019),如万玲等(2006)根据ESP资料,研究了中西沙块体岩石圈结构,认为其地壳速度具有两层结构,上地壳厚度是下地壳厚度的2倍多,莫霍面埋深为24 km。郝天珧等(2011)根据中沙地块与礼乐滩的磁性基底和深部结构的相似性,认为中沙地块与礼乐滩是共轭大陆边陆缘的共轭点。Huang et al.(2019)通过OBS测线研究了中沙地块西北侧的深部结构特征。Ruan et al.(2016)通过OBS测线研究认为在东部次海盆和西南次海盆之间存在一条的弧形转换断裂带,并认为该断裂带是中沙块体与礼乐滩破裂分离过程中形成的。但对中沙地块南部的断裂还未开展相关研究,也鲜少探讨中沙地块南部陆缘的构造属性,而断裂是控制油气、水合物运移与成藏(陈长民等,2003;张伟等,2018)及盆地构造演化的重要因素,笔者前期研究认为断裂系对该区的形成演化具有重要控制作用(徐子英等,2014),因此基于最新采集的高精度多道地震剖面、重力、磁力和地形等地质地球物理资料,系统刻画中沙地块南部断裂时空间展布特征,剖析其内部构造形变特征及深部结构发育特征,探讨断裂发育机制及南部陆缘构造属性,该研究有助于更好认识南

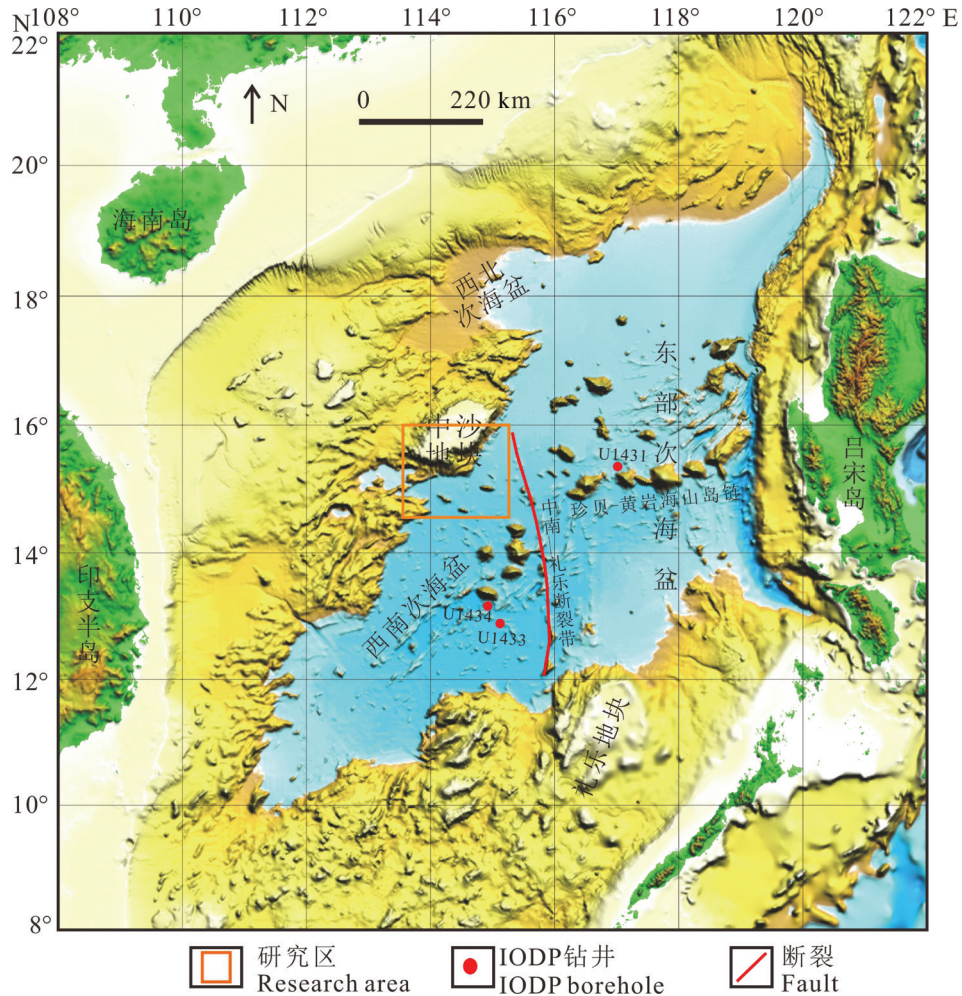


图1 南海地形图(据杨胜雄等,2015)及研究区位置示意图

Fig.1 Bathymetric map of the South China Sea (after Yang Shengqiong et al., 2015) and the location of study area

海的扩张历史和南海南北大陆边缘的构造属性。

2 中沙地块南部地形特征

中沙地块整体呈NE走向,在其顶部和周缘发育许多暗沙和礁体。中沙地块南部地形南侧呈近EW走向,东侧呈NE走向,水深壁陡,水深变化从中沙岛礁顶部的100 m急剧增至海盆的4200 m,东侧坡度比南侧陡,南侧的中部坡度较东西两侧陡。陡坡中分布有阶梯状台阶,台阶面宽度不一,长6~8 km。中沙地块斜坡区侵入岩体较发育,在斜坡南侧海盆区发育数个高出海底数百米至1500 m左右的海山(图2)。

3 中沙地块南部断裂带地球物理特征

通过对多条多道地震剖面进行精细解释,发现在中沙地块南部发育有4组深大断裂,由北向南明显表现阶梯状组合特点。平面上(图2),断裂数量不多,但延伸较长,断裂走向与中沙地块的形态基本一致,南侧断裂呈近EW向发育,东侧断裂呈NE向发育。选取了典型的3条地震剖面进行剖析,其中,T_g为海盆基底界面,T₆为晚渐新世的顶界面,T₅为早中新世的顶界面,T₃为中中新世的顶界面,T₂为晚中新世的顶界面,T₁为上新世的顶界面。

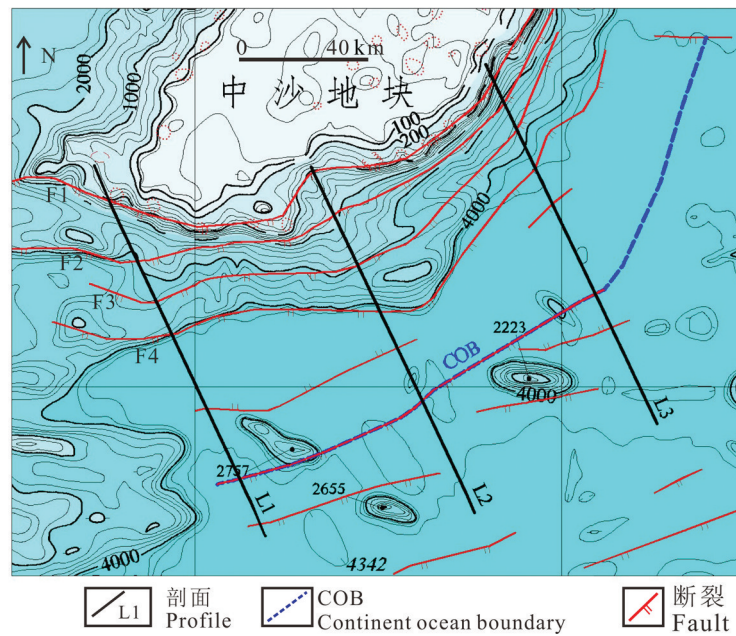


图2 中沙地块南部地形,断裂平面分布及剖面位置图(COB为洋陆边界)

Fig.2 Bathymetric map of southern Zhongsha Bank, faults distribution and profile location (COB is continent-ocean boundary)

地震剖面上(图3,图4,图5),断裂呈陡崖式发育,表现为向海倾斜发育的正断层,地层断距较大,且由下向上断距逐渐变小,断裂控制了晚渐新世到中中新世的沉积发育,随后对沉积控制作用逐渐减弱。断裂活动时间长,大都持续到上新世末才停止活动。根据断裂剖面发育特征及其对沉积的控制作用,推测该组断裂主要发育于晚渐新世到中中新世时期,晚中新世为继承性活动期,到上新世末就基本停止活动。中沙地块南部构造样式主要是伸展构造样式,以堑垒构造样式为主,局部发育半地堑。

自由空间重力异常图上(图6),重力异常值由西北向东南急剧下降,靠近中沙地块南部陡坡处异常等值线呈阶梯状密集分布,表现明显的梯度带,中沙地块上方表现为高值正异常,坡底表现为低值负异常,异常值在 $-50 \times 10^{-5} \sim 80 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 之间变化,异常等值线走向与海底水深线近平行展布。异常的最大值区和最小值区均位于中沙地块东南侧,最大值区位于中沙地块上,异常值为 $80 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,最小值区位于中沙地块东侧,异常值为 $-50 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。中沙地块南侧异常值为 $-35 \times 10^{-5} \sim -20 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 之间变化,异常走向与地形走向基本一致,东侧以NE走向为主,南侧海盆位置处呈近EW走向。磁力异常图上(图7),中沙地块东南部及周缘区域磁异常整体以块状分布为

主,主要为大、中型正负异常,幅值在 $-40 \sim 280 \text{ nT}$,异常走向主要为近EW走向。中沙地块陡坡处磁力异常表现为低值正异常梯度带,在靠近南侧陡坡处的海盆里,磁异常表现为近EW向的高值正异常。

4 讨论

4.1 断裂带深部结构特征

深部结构上,从中沙地块西北向海盆东南延伸,在Moho面埋深、地壳结构和地壳性质上都存在明显差异。

地震剖面上,中沙地块下方莫霍面不清楚,从中沙地块斜坡(洋陆过渡带区)至海盆位置断续可见Moho面,Moho面埋深由 $10 \sim 9.3 \text{ s}$ 逐渐抬升至 $8 \sim 8.5 \text{ s}$ (双程走时,下同)左右,进入海盆Moho面埋深整体保持在 $8 \sim 8.5 \text{ s}$ (图3,图4,图5),Moho面拐点处地壳厚约 1 s ,推测Moho面拐点处为洋陆边界(COB)(图2)。洋陆过渡带上发育少量岩浆,岩浆主要沿南倾大断裂发生侵入,岩浆规模较小,少部分岩浆喷出海底形成海山,大部分岩浆侵入地层,对扩张后期地层有牵引,推测侵入岩浆体主要发育于扩张后期,是海底扩张之后陆缘裂解过程的产物。在洋陆过渡带上也发育一系列向海倾斜发育的大断裂,尤其是洋陆边界处的铲状大断裂断穿基

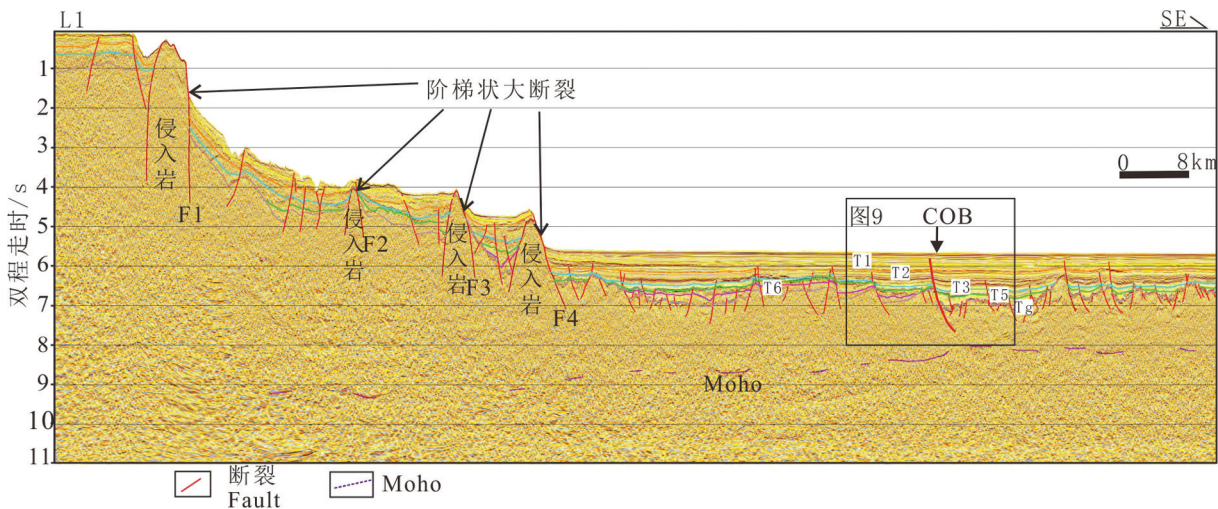


图3 中沙地块南部测线L1地震剖面反射特征
Fig.3 Seismic profile characteristics of southern Zhongsha Bank along survey line L1

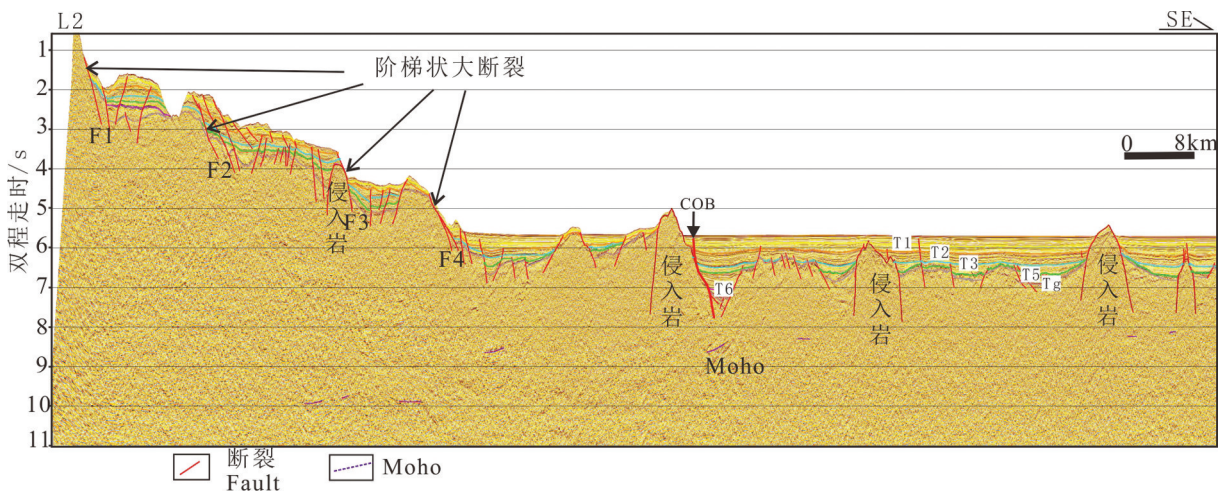


图4 中沙地块南部测线L2地震剖面反射特征
Fig.4 Seismic profile characteristics of southern Zhongsha Bank along survey line L2

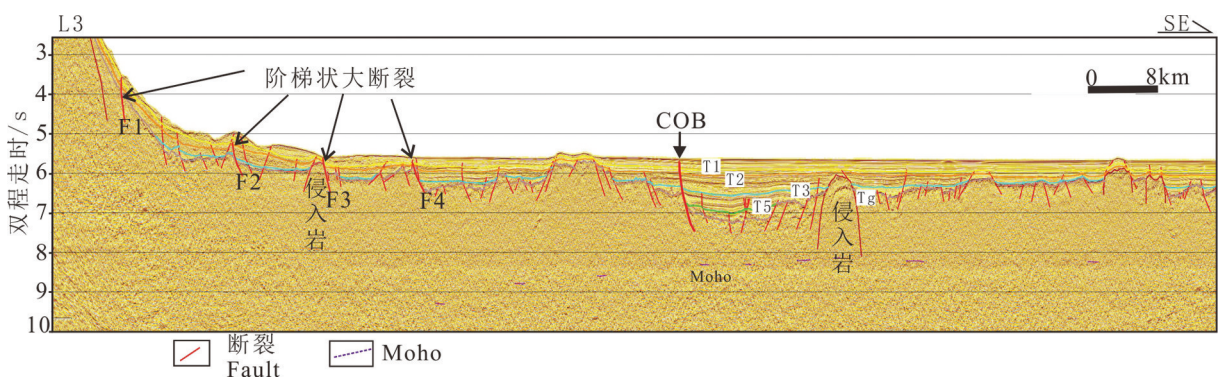


图5 中沙地块南部测线L3地震剖面反射特征
Fig.5 Seismic profile characteristics of southern Zhongsha Bank along survey line L3

底深达7.5 s,沿断裂基底以下0.5 s存在相对强振幅反射面,海盆里也存在基底以下0.5 s出现相对强振幅的反射面,推测为上地壳反射面(徐子英等,2019),因此,推测洋陆边界处的大断裂断穿了上地壳反射面。根据中沙地块南部陆缘岩浆发育少,规模小且发育时期为扩张后期,断裂向海倾斜且以前缘铲状深大断裂为界与洋壳区分开,认为中沙地块南部陆缘构造属性为非火山型被动大陆边缘。

根据重力资料反演的Moho面埋深数值,绘制了Moho面埋深图(图8),可见莫霍面埋深从中沙地块下方的26 km快速抬升到海盆的10~12 km,地壳厚度从中沙地块的20 km上升减薄至海盆的5~8 km。

自由空间重力异常图上(图6),发现中沙地块东南侧存在一条明显的负异常带,异常值在 $-50 \times 10^{-5} \sim -20 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,进入海盆,重力异常值开始上升为低值的正、负异常。自由空间重力异常通常反映了地壳密度变化和地壳的不均匀现象,中沙地块东南部的空间重力异常自陆(中沙地块)向海(海盆)由高值异常向低值异常过渡再向高值异常变化的特征,代表着地壳性质由陆壳向过渡壳再向洋壳的变化特征。因此,根据自由空间重力异常由坡底的明显高值负异常上升到海盆的低值正、负异常,推测从中沙地块陡坡到周缘海域的明显负异常区为洋陆过渡壳,在重力由高值负异常上升到海盆的低值正、负异常的边界为洋陆边界(COB)。

4.2 断裂带成因机制探讨

中沙地块南部的地形明显呈EW走向,斜坡区发育阶梯状的台阶面。中沙地块南部张性正断裂也非常发育,断裂总体呈近EW走向,呈阶梯状向海倾斜发育。斜坡区岩浆体沿深大断裂侵入,有的岩浆体喷出海底形成海山,根据岩浆体对第四纪沉积层的向上牵引,推测岩浆体主要发育于第四纪,即岩浆体主要发育于南海扩张后期。磁力异常图上(图7)可见中沙地块南部发育一近EW向的高值异常带。从中沙地块至海盆的重力异常也表明该区地壳结构由减薄陆壳到洋陆过渡壳再至洋壳的变化特征,以上综合分析表明中沙地块南部断裂带的形成演化主要是在张应力作用下形成的。

地形上,中沙地块南部与东部次海盆是相连的,东部次海盆洋中脊位置区,地形等值线主要呈近EW向,基底断裂也整体呈近EW走向,磁异常条

也主要呈近EW向,由此推测东部次海盆的第二次扩张方向主要呈近NS向。IODP349航次钻探发现,南海在西北次海盆开始扩张时间约33Ma(Liet al,2014),扩张方向为NW-SE向,约23.6 Ma;东部次海盆洋脊向南跃迁(Li et al.,2014),扩张方向转为近NS向。随后,扩张脊向西南次海盆跃迁,扩张方向转为NW-SE向,16 Ma左右西南次海盆扩张停止,15 Ma左右东部次海盆扩张结束(Li et al.,2014)。在东部次海盆近NS向扩张过程中,在古扩张脊两侧发育了一系列近EW向的断裂。珍贝—黄岩海山链也整体呈近EW向。

根据中沙地块南部与东部次海盆中部近EW向构造格架的相似性,推测中沙地块南部的构造演化是在晚渐新世—中新世扩张期形成的,与东部次海盆近NS向的扩张密切相关。从地震剖面上也可佐证(图3,图4,图5),在晚渐新世—中新世期间,断裂控制了早期沉积的发育,后期对沉积控制弱。

综上所述认为,中沙地块南部陆缘在晚渐新世—中新世期间,随着东部次海盆的近NS向扩张,该区构造应力处于张应力作用下,地壳整体由西北向东南被拉张减薄,最后在地壳薄弱处发生断裂,因此,在中沙地块东南斜坡区发育了一系列阶梯状的、向海倾斜的深大正断裂,形成了地堑和半地堑构造样式。沿深大断裂还发育有岩浆侵入,岩浆喷发覆盖到老的基底之上,部分岩浆喷出海底形成海山。同时,地壳性质发生变化,由于地壳的拉张减薄和岩浆的侵入,原先的大陆壳逐渐转化为洋陆过渡壳,最后发育为洋壳。扩张停止后期,断裂主要呈继承性发育,局部区域断裂发生褶皱隆起,断裂褶皱隆起方向为NW向,褶皱隆起地层主要发育于T3(11.6 Ma)至T2(5.5 Ma)时期(图9),推测挤压构造应力与东沙运动有关,即构造应力来源与菲律宾海板块向南海的NWW向的仰冲有关。

因此,中沙地块南部断裂发育机制主要受南海海盆扩张的控制,早期断陷发育的构造应力主要受东部次海盆的近NS向扩张控制,扩张停止后期,断裂主要呈继承性发育,局部挤压褶皱构造应力与菲律宾海板块向南海的NW向仰冲有关。

5 结 论

通过对中沙地块南部地震剖面的精细刻画,结

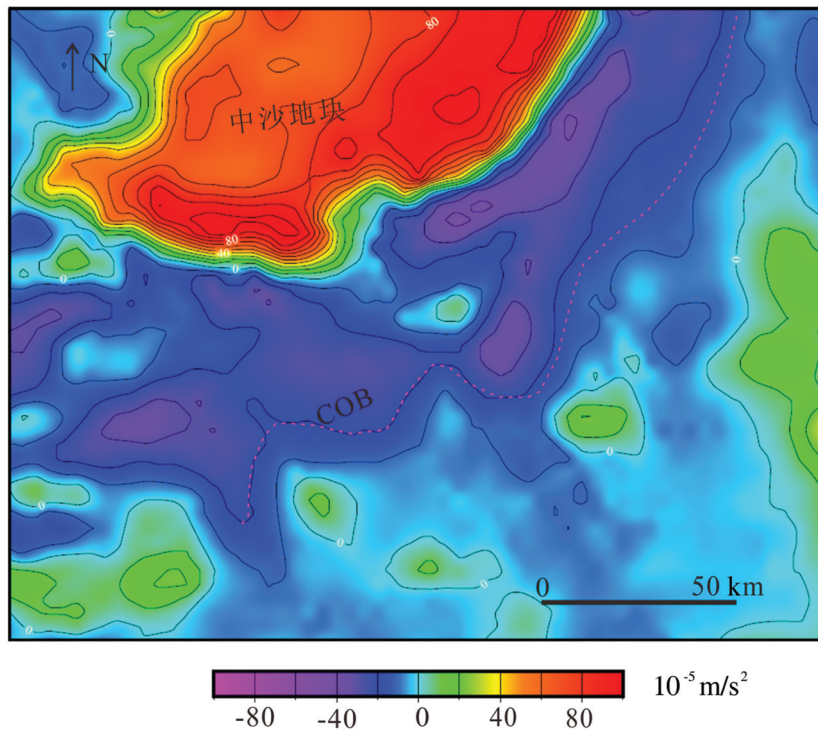


图6 中沙地块南部自由空间重力异常图(粉色虚线为COB)
 Fig.6 Feature of the free-air gravity anomaly in southern Zhongsha Bank (The dashed pink line represents COB)

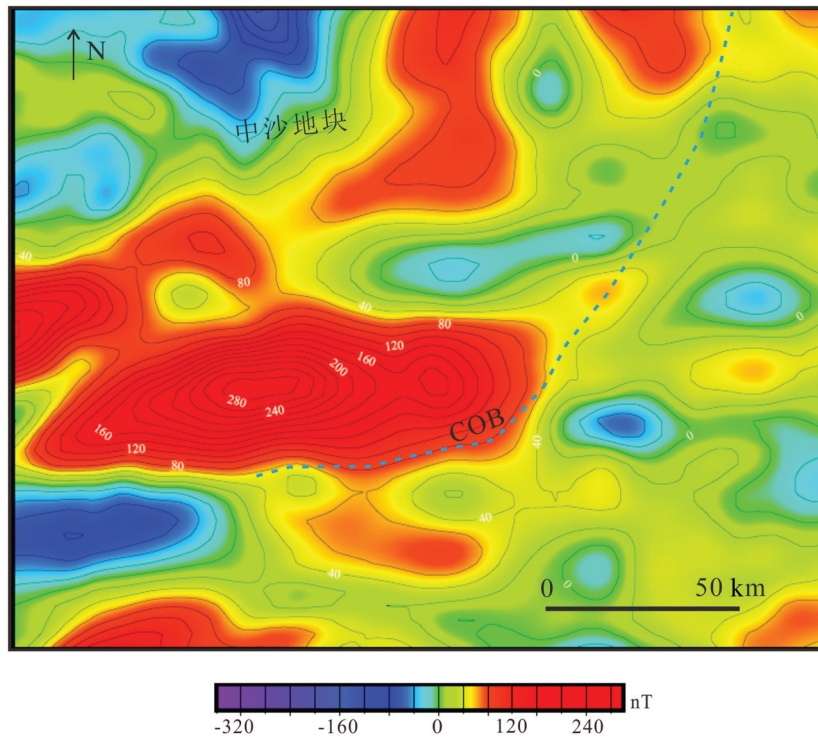


图7 中沙地块南部磁力异常图(蓝色虚线为COB)
 Fig.7 Feature of the magnetic anomaly in southern Zhongsha Bank (The dashed blue line represents COB)

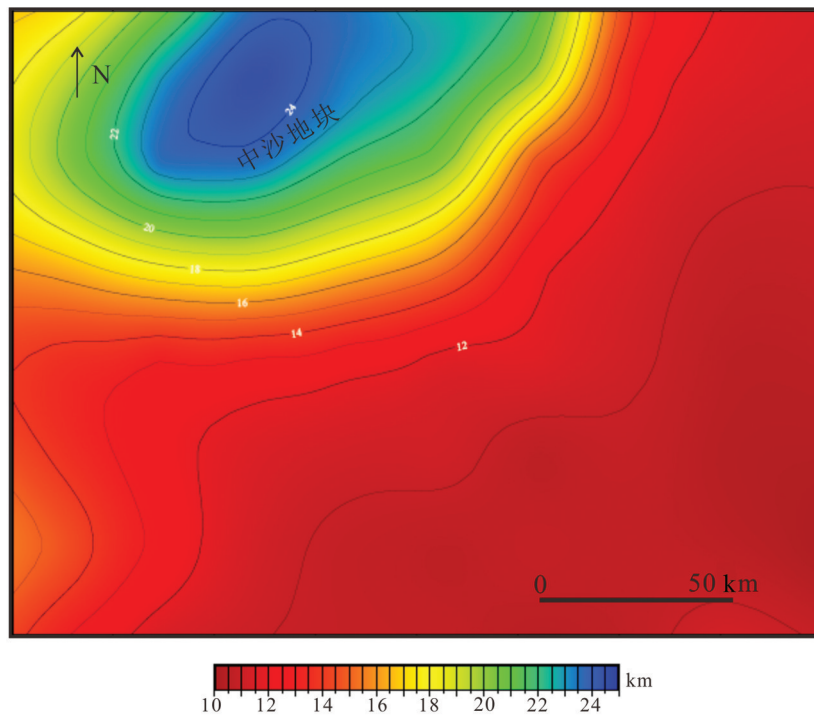


图8 中沙地块南部Moho面埋深图

Fig.8 Feature of the Moho interface burial depth in southern Zhongsha Bank

合重力、磁力与地形等地球物理资料,厘定了中沙地块南部断裂的空间展布,剖析了断裂发育时期和内部构造形变特征,并探讨了断裂的深部结构和成因机制,取得如下认识:

(1)中沙地块南部发育有4组深大正断裂,由北向南明显表现阶梯状向海倾斜发育特征。

断裂主要发育于晚渐新世到中中新世时期,晚中新世为继承性活动期,上新世末才停止活动。

(2)深部结构上,从西北向(中沙地块下方)东南方向(海盆)延伸,地壳性质由减薄陆壳向洋陆过渡壳再向正常洋壳发育变化,从中沙地块陡坡至其前缘海域的明显负异常区为洋陆过渡带,在重力由

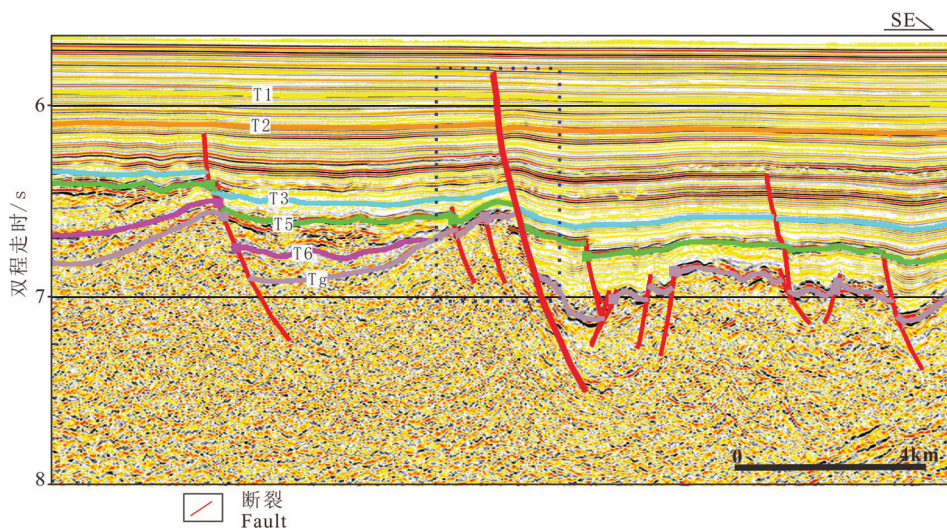


图9 中沙地块南部断裂褶皱隆起地震反射特征(虚线框为断裂褶皱区)

Fig.9 Seismic profile characteristics of fault fold and uplift in southern Zhongsha Bank (The dashed line frame is the fault fold area)

高值负异常上升到海盆的低值正、负异常的边界为洋陆边界。Moho面埋深从中沙地块下方的26 km快速抬升到海盆的10~12 km。中沙地块南部陆缘构造属性为非火山型被动大陆边缘。

(3)中沙地块南部断裂发育机制早期伸展发育与南海东部次海盆近NS向扩张有关,后期挤压应力与菲律宾海板块向南海的NWW向仰冲有关。

致谢:非常感谢两位审稿专家的建设性意见及编辑部老师耐心指导修改。

References

- Chen Changmin, Shi Hesheng, Xu Shice. 2003. The Condition of Oil and Gas Reservoir Formation in the East of Zhujiangkou Basin[M]. Beijing: Science Press, 1-30(in Chinese).
- Hao Tianyao, Xu Ya, Sun Fuli, You Qingyu, Lü Chuanchuan, Huang Song, Qiu Xuelin, Hu Weijian, Zhao Minghui. 2011. Integrated geophysical research on the tectonic attribute of conjugate continental margin of South China Sea[J]. Chinese Journal of Geophysics, 54(12): 3098-3116(in Chinese with English abstract).
- Huang Haibo, He Enyuan, Guo Xingwei, Fan Jianke, Zhang Xunhua. 2019. Insights about the structure and development of Zhongsha Bank in the South China Sea from integrated geophysical modelling[J]. International Geology Review, 68(14): 1938-2839.
- Jin Xianglong. 1989. Geosciences research report of South China Sea[J]. Donghai Marine Science, 7(4):30-42 (in Chinese with English abstract).
- Li Chunfeng, Xu Xing, Lin Jian, Sun Zhen, Zhu Jian, Yao Yongjian, Zhao Xixi, Liu Qingsong. 2014. Ages and magnetic structures of the South China Sea constrained by deep tow magnetic surveys and IODP Expedition 349[J]. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 15(12):4958-4983.
- Liu Jianhua, Xu Deqiong. 1986. The characteristics and origin of the trough south of Zhongsha Islands[J]. Donghai Marine Science, 4(3): 25-32(in Chinese with English abstract).
- Ruan Aiguo, Wei Xiaodong, Niu Xiongwei, Zhang Jie, Dong Chongzhi, Wu Zhenli, Wang Xinyang. 2016. Crustal structure and fracture zone in the Central Basin of the South China Sea from wide angle seismic experiments using OBS[J]. Tectonophysics, 688:1-10.
- Sun Jiashi. 1987. A discussion of the formation ages of the bedrock in the xisha Islands[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 7(4): 5-6(in Chinese with English abstract).
- Wan Ling, Yao Bochu, Zeng Weijun, Wu Nengyou, Xia Bin, Zhu Benduo. 2006. Lithospheric structure and petroleum distribution in the South China Sea[J]. Geology in China, 33(4):874-884(in Chinese with English abstract).
- Xu Ziyang, Wang Jun, Gao Hongfang, Sun Meijing. 2014. Fault

developmental characteristics and structure style of the southern part of the Zhongsha block[C]//Third Congress Earth System Science, Shanghai (in Chinese).

- Xu Ziyang, Wang Jun, Gao Hongfang, Sun Guihua, Sun Meijing, Nie Xin, Zhou Rongwei. 2019. Research progress on the Zhongnan-Liyue Fault Zone in the South China Sea Oceanic Basin[J]. Journal of Tropical Oceanography, 38(2): 86-94(in Chinese with English abstract).
- Yang Shengxiong, Qiu Yan, Zhu Benduo, Chen Jie, Guan Yongxian, Peng Xuechao, Gao Hongfang, Guo Lihua. 2015. Atlas of Geology and Geophysics of the South China Sea[M]. Tianjin: China Navfingation Publications(in Chinese with English abstract).
- Zhang Wei, Liang Jinqiang, Su Pibo, Wei Jiangong, Sha Zhibin, Lin Lin, Liang Jin, Huang Wei. 2018. Migrating pathways of hydrocarbons and their controlling effects associated with high saturation gas hydrate in Shenhu area, northern South China Sea[J]. Geology in China, 45(1): 1-14(in Chinese with English abstract).
- Zhao Bin, Gao Hongfang, Zhang Hen, Li Liqing. 2019. Structure study of the northeastern Zhongsha Trough Basin in the South China Sea based on prestack depth migration seismic imaging[J]. Journal of Tropical Oceanography, 38(2): 95-102(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈长民,施和生,许仕策. 2003. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京:科学出版社.
- 郝天珧,徐亚,孙福利,游庆瑜,吕川川,丘学林,胡卫剑,赵明辉. 2011. 南海共轭大陆边缘构造属性的综合地球物理研究[J]. 地球物理学报, 54(12): 3098-3116.
- 金翔龙. 1989. 南海地球科学研究报告[J]. 东海海洋, 7(4):30-42.
- 刘建华,徐德琼. 1986. 中沙南海槽的特征及其形成[J]. 东海海洋, 4(3):25-32.
- 孙嘉诗. 1987. 西沙基底形成时代的商榷[J]. 海洋地质与第四纪地质, 7(4):5-6.
- 万玲,姚伯初,曾维军,吴能友,夏斌,朱本铎. 2006. 南海岩石圈结构与油气资源分布[J]. 中国地质, 33(4):874-884.
- 徐子英,高红芳,汪俊,孙美静. 2014. 中沙海台南部断裂发育特征及其构造样式[C]. 上海:第三届地球系统科学大会, 405.
- 徐子英,汪俊,高红芳,孙桂华,孙美静,聂鑫,朱荣伟. 2019. 南海海盆中南-礼乐断裂带研究进展[J]. 热带海洋学报, 38(2):86-94.
- 杨胜雄,邱燕,朱本铎,陈洁,关永贤,彭学超,高红芳,郭丽华. 2015. 南海地质地球物理图系[M]. 天津:中国航海图书出版社.
- 张伟,梁金强,苏丕波,尉建功,沙志彬,林霖,梁劲,黄伟. 2018. 南海北部陆坡高饱和度天然气水合物气源运聚通道控藏作用[J]. 中国地质, 45(1): 1-14.
- 赵斌,高红芳,张衡,李丽清. 2019. 基于深度域地震成像的中沙海槽盆地东北部结构构造研究[J]. 热带海洋学报, 2019, 38(2):95-102.