

南海西缘断裂带走滑特征及其形成机理初步研究

高红芳^{1,2,3}

(1. 中国科学院南海海洋研究所边缘海重点实验室, 广东 广州 510103 2. 中国科学院研究生院, 北京 100080;
3. 广州海洋地质调查局, 广东 广州 510760)

摘要:南海西缘断裂带是南海西部最主要的构造要素,从北到南贯穿了该区主要的沉积盆地,具有走滑断裂的性质。由于不同地质时期走滑方向的不同,形成了不同的断层组合,主要表现为负花状构造和北东向、北西向两组雁列断层以及平面上双马尾状构造组合。主体断裂带以单条式为主,区段式活动特征明显。在南北盆地之间的构造转换带表现为负花状构造-犁式断裂-多米诺式反向调节正断层的组合。综合分析认为,南海西缘断裂是一组长期活动的断裂带,大规模走滑活动从中始新世至第四纪时期,主要为右旋走滑,应力以张扭作用为主;但是在中中新世末期,走滑方向曾经发生转变,为左旋走滑,转为压扭应力,造成区域隆升,导致地层被剥蚀,南海西部盆地现今沉积-构造格局基本形成。

关键词:南海西缘断裂带;走滑断裂;分段式活动;构造转换带

中图分类号:P542+.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2011)03-0537-07

走滑断裂、扭动构造是地壳水平运动的重要表现,是石油构造分析中的一个重要方面,在国内外受走滑构造因素控制的含油气盆地占有相当大的比重,是一个在石油勘探中值得重视的研究课题^[1]。南海西缘断裂带位于南海西部,又称越东-万安东断裂带,从北到南贯穿了南海西部重要的含油气沉积盆地——中建南盆地和万安盆地(图 1),具备走滑断裂的性质,其不同地质时期的活动、演化与盆地的含油气条件及成藏演化密切相关。因此,研究该断裂带的走滑和扭动形迹特征及其形成演化具有重要的意义。

1 南海西缘断裂带总体特征

南海西部断裂极为发育,是最重要和常见的构造现象之一。南海西缘断裂带作为区域性的大断裂带控制了南海西部区域地质构造的演化和发展,尤其对盆地的控制和改造作用最为明显;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。

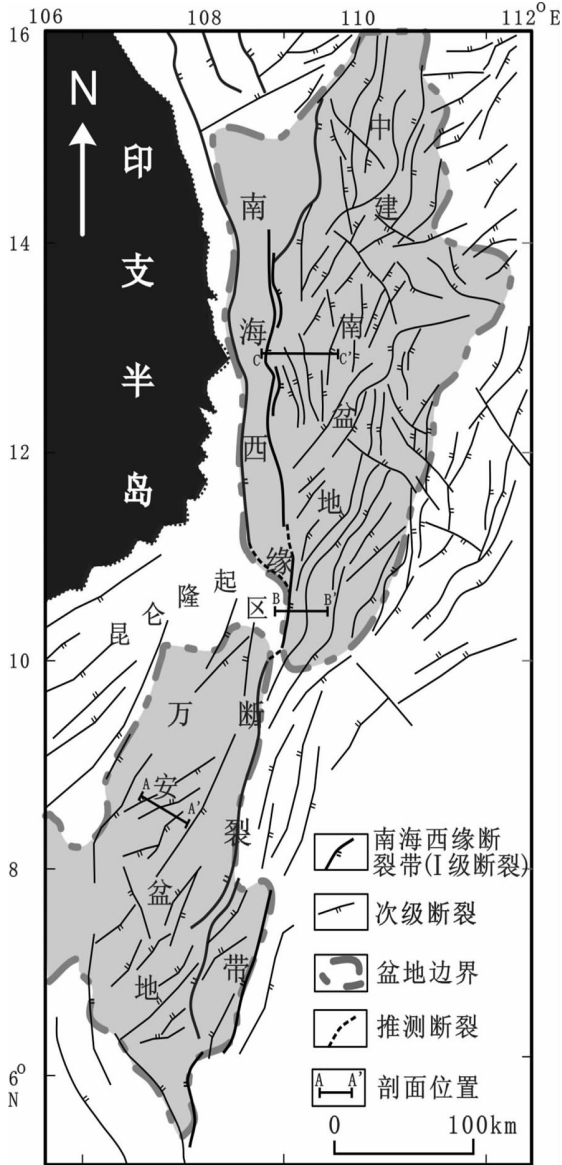
按断裂展布方向大致可分为近 SN 向和 NE-NNE 向、NW 向 3 组(图 1),近 SN 向断裂主要指盆缘断裂,规模较大,延伸较长,一般为基底断裂,新生代多次继承性活动;NE-NNE 向断裂最为发育,数量多、规模大、活动时间长,从盆地形成至第四纪均有发育。NW 向断裂规模较小,主要发育于新近纪。NW 向断裂由于形成时间较晚,在平面图上往往可见其错断了 NE 向断裂。

根据其规模大小、对沉积和构造的控制作用等因素,将研究区内的断裂分为 3 个等级。南海西缘断裂为 I 级断裂,为大型走滑断裂,沿该断裂曾发生过多次走滑作用,构成块体间的边界,并对盆地的构造演化起了重要作用。II 级断裂指断距大、延伸远、形成时间早、活动时间长、规模较大的断裂,这些断裂往往具有继承性和同沉积性质,对盆地的沉积和构造具有明显的控制作用,多为二级构造单元的边界断层。III 级断层指规模较小、形成时间晚、活动时间

收稿日期:2010-03-19;改回日期:2011-01-13

基金项目:国家专项海洋地质保障工程项目(GZH200800502)资助。

作者简介:高红芳,女,1971 年生,博士,教授级高工,主要从事海洋区域及盆地构造、沉积分析;E-mail:promap@163.com。



(注:1.编图资料来源:主要根据广州海洋地质调查局实测地震资料编制;参考使用了 Gwang H. Lee 等(1998,2001)、Morley C K(2002)、Fyhn M B W 等(2009)等人公开发表的文献。2.图中盆地的范围依据盆缘大断裂及 2000 m 沉积等厚线进行圈定。)

图 1 南海西部断裂分布图

Fig.1 Distribution of faults in western South China Sea

短、对沉积和构造无明显控制作用的断层^[2-5]。

I 级断裂——南海西缘断裂位于南海西部陆架外缘的坡折处,北端始于北纬 17°附近的海南岛南部海域,向北与北西向的红河—莺歌海断裂相接;南至北纬 6°00'。该断裂在地形地貌、重磁场特征、地震剖面上均有反映。在研究区内的控制长度超过 1100 km,垂直断距为 640~1700 m,最大水平断距约为

1000 m,主要由两条断裂组成,以 SN 向延伸为主。在北段中建南盆地区域,向东倾伏,其东侧为一系列 NE 向、NW 向雁列式的断层。在南段万安盆地区域,断层面向东倾斜,其西侧发育 NE 向、NW 向断层。断裂对应重磁异常梯度带,并处于磁性基底埋藏深度的梯度带上。空间重力异常表现为三个重力高呈南北向排列,在 ΔT 等值线图表现为 SN 向的强磁异常带,高值异常呈串珠状排列,经与越南南部的地质对比,重力高和伴随的磁力高,可能是岩浆岩侵入的结果^[6]。在 CCOP(1994)所编的磁异常图上,该带是不同磁场区的分界。

2 南海西缘断裂带的活动期次和展布特征

根据地震剖面上断裂与反射界面和地震层序(构造层)的关系,以及断裂对沉积作用的控制,并结合平面上不同方向断裂切割关系。将南海西缘断裂带的断裂活动大致可分为 4 个时期:

(1)早期为晚白垩世—早始新世。此时期发育的大断裂以南海西缘断裂为代表,其次是由于盆地裂陷初期所产生的次级断裂,这些断裂基本上是和盆地一起产生和发展的,一般是规模较大的边界断裂,活动时间较长,同生性质明显,控制作用强烈,往往构成二级构造单元的边界,盆地内的 II 级断裂均属此类。

该时期的断裂除南海西缘断裂为 SN 向以外,其余以 NE-NNE 向为主。

(2)中期为中晚始新世—中中新世。该期的断层活动最为强烈,由于受区域构造运动的影响,除了早期的断层继续活动并伴有岩浆侵入外,还产生大量的新断层。这些新断层遍布盆地中,虽然数量众多,但规模相对较小,主要为 III 级断裂,对沉积和构造无明显的控制作用,主要是大断层的伴生断裂和控制局部构造的形态和类型^[10]。

此期的断裂以 NE 和 NE-NNE 为主,少量为 SN 和 NW 方向。

(3)后期为中中新世末期(T_3 反射界面)。受万安运动的影响,早期张性断层发生不同程度的压扭性活动,发生构造反转(图 2),同时在应力转变的过程中,产生一系列 NW 向的雁列式断裂。

(4)晚期为晚中新世—第四纪。虽然此时已属区域沉降阶段,区域应力场已进入松弛状态,但岩浆喷发活动仍比较强烈。受岩浆活动的影响,与岩体伴生

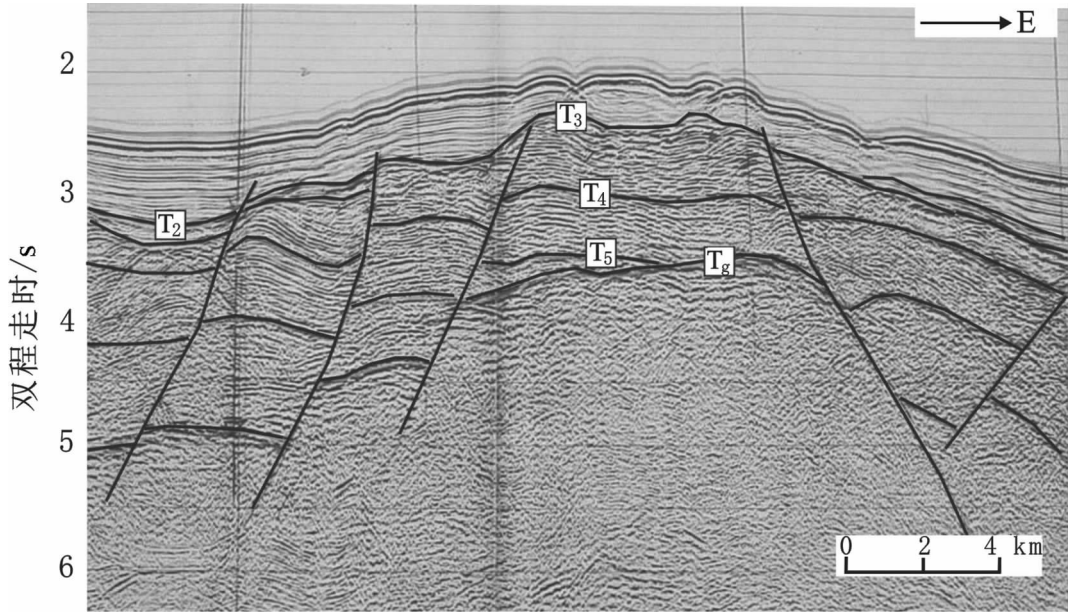


图 2 中中新世末期地层遭受构造反转的地震剖面特征

Fig.2 Seismic profile characteristics of strata suffering structure reversion at the end of middle Miocene

的断裂或附近的断层仍继续活动,部分断层断至海底形成陡坡、陡坎或断崖等,构成了现今的地貌特征。

3 南海西缘断裂带走滑、扭动特征

南海西缘断裂带具有走滑、扭动构造的特征。其表现形式主要有 4 种:一是呈现南北向线状延伸,其构造样式为单条式,即主要由 1 条主干断裂带和派生的次级断裂组成,局部区域主干断裂带由 2 条或

3 条主干断裂组成。二为负花状构造,为张扭作用的产物,是南海西缘断裂的主要表现特征,剖面上可见到断层向上分支构成下窄上宽的貌似“花朵”的断裂带,断层具有正断性质,断裂组成总体表现为向形特征。研究区北部主断裂带表现明显(图 3),南部分支断裂负花状构造较发育(图 4)。其三为分段性明显,倾向有左右摇摆现象,显示出扭动构造的特征。其四为伴生的雁列断裂,研究区发育北东和北西方向两

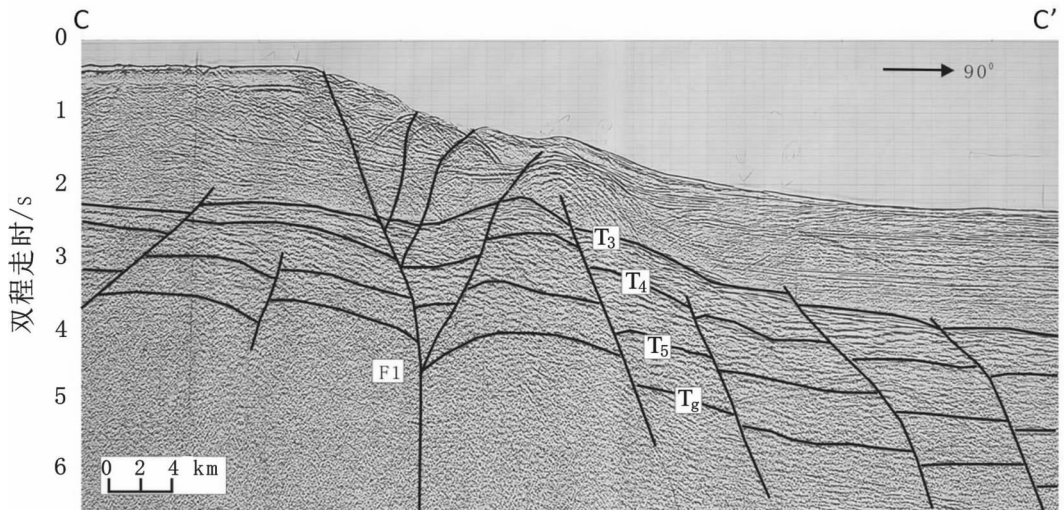


图 3 南海西缘断裂带主断裂负花状构造剖面图

Fig.3 Negative flower structure profile of western-edge fault belt in South China Sea

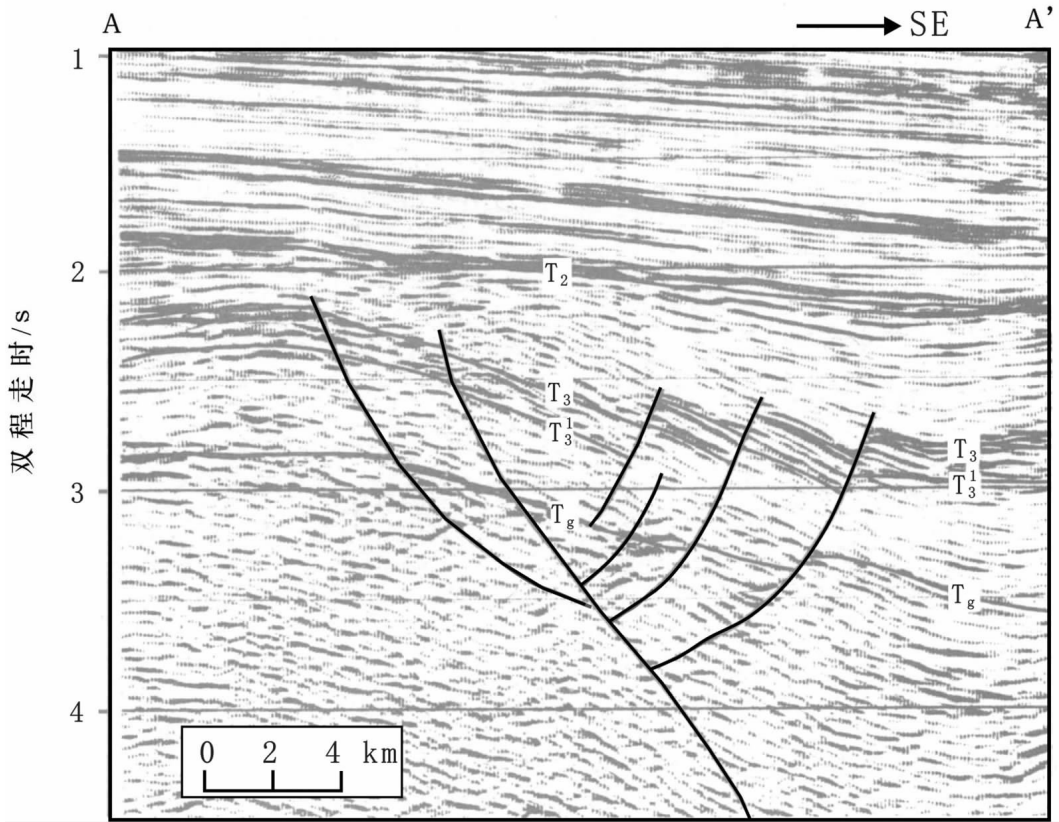


图 4 南海西缘断裂带分支断裂负花状构造剖面图

Fig.4 Negative flower structure profile of the branch faults of western-edge fault belt in South China Sea

组雁列断裂(图 1),与主干断裂呈 60°~70°夹角。

此外,在平面上,南海西缘断裂带主干断裂带与北东向分支断裂间形成了南北两个大的马尾状构造(图 5^[9]),显现出走滑扭动形迹,即中建南盆地近 NS 主断裂带与 NE 向断裂形成的向南收敛、向东北发散的马尾状构造,以及万安盆地近 NS-NNE 向主断裂带与 NE 向断裂之间形成的向东北部收敛、向西南部发散的马尾状构造。这些双马尾状构造显示出中建南盆地和万安盆地伸展与走滑性质兼备的特殊性质,反映了南海西缘构造发育演化的动力学机制。

4 构造转换带断裂特征分析

南海西缘断裂带具有分段性特征,断面扭动构造非常发育,倾角变化范围很大,也是该断裂带的走滑扭动特征之一。最显著的分段位于中建南盆地和万安盆地的交接处。主断裂在北部以向东倾斜为主,而在南部断面则主要向西倾斜,南北结合之处,形成了构造叠接带^[9]。在叠接带区域,断裂带表现出与南

北构造区明显不同的特征,形成了负花状构造+犁式断裂+多米诺式反向正断层的构造组合(图 6)。

其中,该负花状构造为南海西缘断裂带主干断裂在转换带的表现,其周缘显示出低隆起的特征,沉积厚度 1000~3000 m,与南北两侧主干断裂附近 3000~5000 m 的沉积厚度明显不同,说明在转换带主干断裂附近构造沉降量减小^[10]。

犁式断裂发育于主干断裂东侧,平面上呈北东-北北东向,根据其剖面特征分析,该犁式断裂同沉积作用显著^[10],表现出台阶式(或座椅式)特征,显示该区域地层曾经历了两期明显的大角度旋转式伸展作用,一期发生于古近纪,犁式断裂在距主干断裂东部约 10 km 处发育,呈铲状,东侧地层明显加厚,并发生了大角度旋转作用。古近纪末晚渐新世时期,该区域地层遭受剥蚀,角度不整合面发育。此后,在近东西方向上,盆地呈现断块式上超,犁式断裂继承性发育,台阶式断裂组合样式形成,但这个时期地层旋转角度不大。从地震剖面分析,该阶段犁式断裂的活

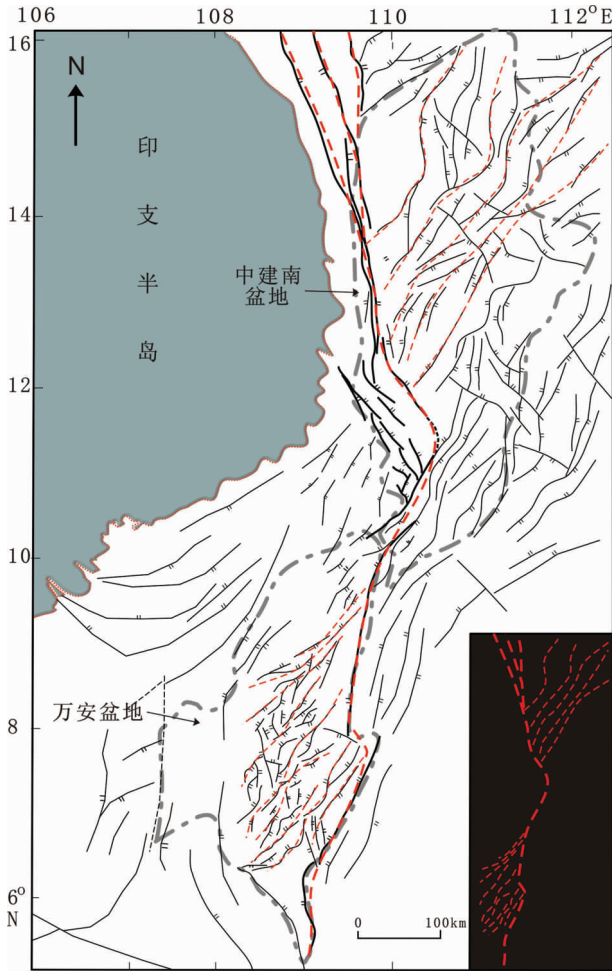


图 5 南海西缘断裂带双马尾状构造组合示意图
 Fig.5 Double horse-tail shape structure associations of western-edge fault belt in South China Sea

动停止于中中新世末期,并形成了一个区域不整合面。此后断裂活动主要与重力和区域热沉降作用有关。

多米诺式反向正断层为犁式断裂的构造调节断裂,发育于古近纪末期,对沉积基本上没有控制作用。

转换带的这种构造组合特征既反映了南海西缘断裂的明显扭动特征,又表现出在构造调节过程中形成的大幅度伸展作用和断块旋转的特征。

5 南海西缘断裂带形成机理分析

根据南海西部断裂分布平面图(图 1)和主断裂与分支断裂的剖面组合特征,研究区发育的 NE 向和 NW 向断裂,形成了两组雁列断裂,剖面上都表现为张性断裂,而且 NW 向断裂发育时间比 NE 向晚,在平面图上错断了 NE 向断裂。说明这两组断裂为两种不同的应力机制下的产物。

NE 向断裂在盆地内大量发育,对盆地内部沉积和构造单元有明显的控制作用^[2-4],根据南海西缘断裂主干断裂的发育特征以及与 NE 向断裂的组合关系,结合中建南盆地、万安盆地的形态和构造格架^[3],认为从中始新世至中中新世早期,南海西缘断裂带以右旋走滑为主,其应力分析见图 7-a。该阶段应力以张扭为主,研究区盆地表现出明显的伸展特征,构造沉降速率加大^[2],断裂多具有同沉积作用特征,沉积厚度显著加大。但是,研究区盆地内中始新统顶部和上渐新统内部部分区域剥蚀面的发育,说明南海西缘断裂带在该段时期内应力的方向和大小可能曾

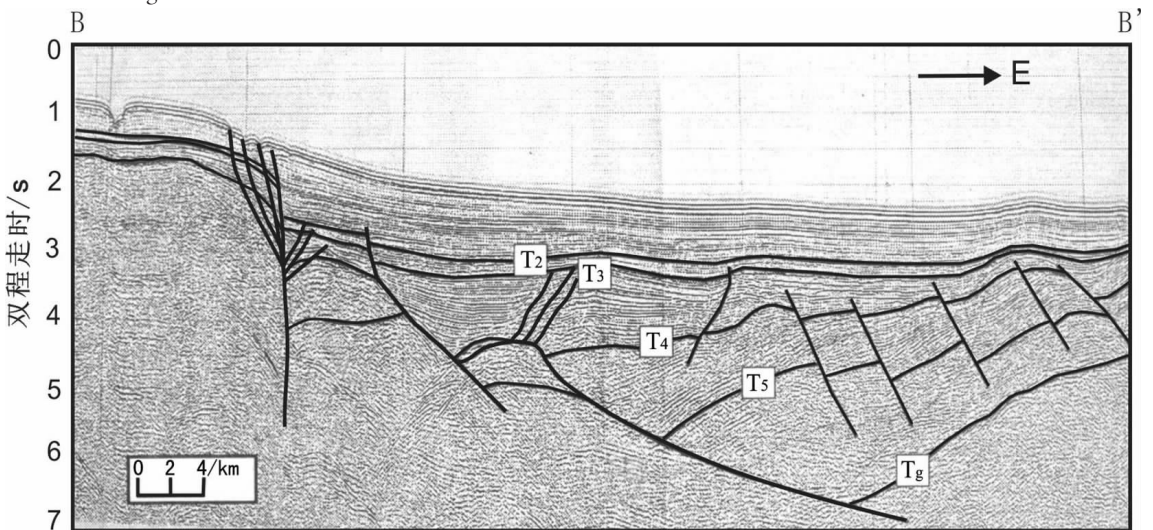


图 6 南海西缘断裂南北转换带断裂组合特征
 Fig.6 Faults characteristics of transform belts between north and south stepover zones on the western-edge fault belt in South China Sea

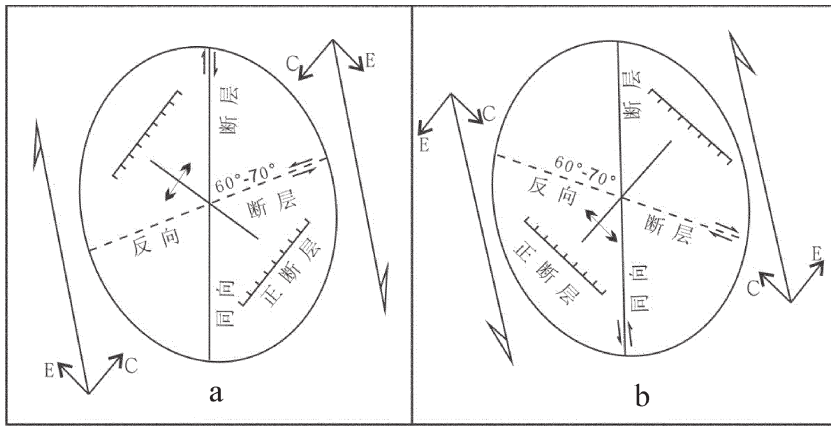


图 7 两种不同断裂组合(a-右旋走滑,b-左旋走滑)的应变椭球体分析(E-张应力,C-压应力)

Fig.7 Ellipse sphere analysis of stress deformation of the combination of two different faults
(A-Right lateral strike-slip; B-Left lateral strike-slip; E-Extension stress; C-Extrusion stress)

经发生过转变。

NW 向断裂也是主干断裂的雁列式断裂。根据盆地及区域构造特征,认为该组断裂的发育与万安运动关系密切^[6],为南海西缘断裂带左旋走滑的产物,其应力分析见图 7-b,形成时间为中中新世末期。该时期应力以压扭为主,研究区发生区域性隆升,遭受挤压、剥蚀,地层发生变形,角度不整合面形成^[11](图 2)。

研究区中中新统剥蚀面之上,沉积了一套稳定的席状沉积层^[12],断层活动轨迹不明显,仅南海西缘断裂带主干断裂有弱继承性活动,但活动强度不大,基本没有伴生断裂活动,推测其应力为重力沉降作用。同时盆地的这种现象表明,南海西缘断裂带的左旋走滑作用只是中中新世末短时期的一次构造反转改造活动,并未延展至后期晚中新世—第四纪。在晚中新世—第四纪时期,南海西部断裂及其周缘构造单元以伸展为主,因此,该时期南海西缘断裂带应该为弱右旋走滑作用或基本已经停止活动。

6 主要结论

(1)南海西缘断裂带是一组长期活动的走滑断裂,总体以右旋走滑拉张作用为主,剖面上可见负花状构造样式,平面上主断裂和分支断裂形成双马尾状构造组合;但中中新世末,区域应力场发生变化,应力从张扭变为压扭,断裂的走滑方向发生转变,从而引起了构造反转。

(2)南海西缘断裂带具有分段性特征,断面扭动

构造非常发育,最显著的分段位于中建南盆地和万安盆地的交接处。主断裂在北部以东倾为主,而在南部断面则主要向西倾斜,南北结合的构造转换处,形成了叠接带。

(3)在构造转换区域,断裂带表现出与南北构造区明显不同的特征,发育负花状构造、犁式断裂、多米诺式反向正断层的构造组合,显示出大型分段式走滑断层叠接带的构造调节特征。

参考文献(References):

- [1] 王燮培, 费琪, 张家骅. 石油勘探构造分析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990:132-140.
Wang Xiepei, Fei Qi, Zhang Jiahua. Structure analysis of Petroleum Survey [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1990: 132-140.
- [2] 张光学. 地壳伸展及走滑与万安盆地的形成 [J]. 南海地质研究, 1996, (8):14-22.
Zhang Guangxue. The formation, crust extension and strike-slip tectonics of Wan'an Basin [J]. Geological research of South China Sea, 1996, (8):14-22(in Chinese with English abstract).
- [3] 高红芳, 陈玲. 南海西部中建南盆地构造格架及形成机制分析[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4):512-516.
Gao Hongfang, Chen Ling. Structure pattern and formation mechanism analyzing of Zhongjiannan basin in the west of South China Sea [J]. Oil and Gas Geology, 2006, 27 (4):512-516 (in Chinese with English abstract).
- [4] 张光学, 缪宛岑. 万安盆地扭动构造形迹及构造油气藏研究[C]//南海地质研究(七). 武汉: 中国地质大学出版社, 1995:22-28.
Zhang Guangxue, Miu Wanqin. On the shear tectonic feature and structure oil & gas pools of Wan'an Basin [C]//Geological Research

- of South China Sea (Memoir 7). Wuhan:China University of Geosciences Press, 1995:22–28 (in Chinese with English abstract).
- [5] 姚伯初, 邱燕, 吴能友, 等. 南海西部海域地质构造特征和新生代沉积[M]. 北京:地质出版社, 1999:22–32.
- Yao Bochu, Qiu Yan, Wu Nengyou, et al. Geological and Tectonic Characteristics and Cenozoic Sedimentation of the Western South China Sea[M]. Beijing:Geological Publishing House.1999:22–32(in Chinese).
- [6] Lee G H, Watkins J S. Seismic sequence stratigraphy and hydrocarbon potential of the Phu Khanh Basin, offshore central vietnam, South China Sea[J]. AAPG Bulletin, 1998, 82(9):1711–1735.
- [7] Morley C K. A tectonic model for the Tertiary evolution of strike–slip faults and rift basins in SE Asia [J]. Tectonophysics, 2002, 347: 189–215.
- [8] Fyhn M B W, Nielsen L H, Boldreel L O, et al. Geological evolution, regional perspectives and hydrocarbon potential of the northwest PhuKhanh Basin, offshore Central Vietnam [J]. Marine and Petroleum Geology, 2009a, 26:1–24.
- [9] 宋鸿林. 斜向滑动与走滑转换构造[J]. 地质科技情报, 1996, 15(4), 32–38.
- Song Honglin. Oblique slip and strike–slip transform structures[J]. Geological Science and Technology Information, 1996, 15(4):32–38 (in Chinese with English abstract).
- [10] 高红芳, 王衍棠, 郭丽华. 南海西部中建南盆地油气地质条件和勘探前景分析[J]. 中国地质, 2007, 34(4):592–598.
- Gao Hongfang, Wang Yantang, Guo Lihua. Oil and gas geological condition and survey perspective analysis of Zhongjiannan basin in the west of South China Sea [J]. Geology in China, 2007, 34(4): 592–598. (in Chinese with English abstract).
- [11] 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):69–76.
- 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):69–76(in Chinese with English abstract).
- [12] 高红芳, 白志琳, 郭依群. 南海西部中建南盆地新生代沉积相及古地理演化[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(6):411–416.
- Gao Hongfang, Bai Zhilin, Guo Yiqun. Cenozoic sedimentary facies and palaeogeographic evolution of Zhongjiannan basin, South China Sea[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 2000, 14(6): 411–416 (in Chinese with English abstract).

A tentative discussion on strike–slipping character and formation mechanism of western–edge fault belt in South China Sea

GAO Hong–fang^{1,2,3}

(1. CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology and South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, Guangdong, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 3. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, Guangdong, China)

Abstract: The western–edge fault belt is the most dominating structure element in the west of South China Sea. It runs through the main sedimentary basins from north to south and has the property of strike–slip fault. The western–edge fault belt forms different arrangements of faults because of diverse strike–slipping directions at various geological times. Faults arrangements consist of negative flower structure, two groups en–echelon faults of northeast and northwest strike and double horse–tail shaped structure associations in plane. The main fault of the western–edge fault belt is of single stripe pattern and evident segmentation movement. Faults character of transform belts between north and south stepover zones is the compounding of negative flower structure, listric normal fault and dominoes reversing adjusting normal fault. According to an integrated analysis, the western–edge fault belt of South China Sea is considered as an long–active fault belt, and its strike–slip movement took place from middle Eocene to Quaternary. The movement of the western–edge fault belt was mainly right–lateral with extension–wrest stress, but during the end of middle Miocene, the direction of strike–slip movement changed to left lateral with extrusion–wrest stress, which resulted in regional strata uplift and erosion. Under these actions, the pattern of current sediment and structure was formed basically in the western basins of South China Sea.

Key words: western–edge fault belt of South China Sea; strike–slip fault; segmentation; transform belt

About the first author: GAO Hong–fang, female, born in 1971, senior engineer, mainly engages in integrated analysis and simulation of petroleum basins; E–mail: promap@163.com.