

南海北部滨海断裂带的深部地球物理探测 及其发震构造研究

徐辉龙¹, 叶春明², 丘学林¹, 孙金龙¹, 夏少红¹

(1. 中国科学院南海海洋研究所边缘海地质重点实验室, 广东 广州 510301;

2. 广东省地震局, 广东 广州 510070)

摘要: 滨海断裂带为华南亚板块与南海亚板块的分界断裂, 是南海北部陆缘的重要控震构造和发震构造。为了探明南海北部海陆过渡带特别是滨海断裂带两侧的深部地壳结构变化特征, 在南海北部进行了一系列的海陆地震联测的实验, 根据海陆联合深地震探测的结果, 南海北部以滨海断裂带为界, 断裂带西北部为华南亚板块的典型陆壳, 地壳厚 30 km, 上地壳下部存在一层速度为 $5.5\sim 5.9\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 、厚度为 3.0~4.0 km 的低速层, 埋深约 10~18 km; 断裂带东南部为南海亚板块减薄型陆壳, 厚 25~28 km, 上地壳下部的低速层逐渐减薄并最后尖灭。滨海断裂带为一个上下连续倾向 SE 的低速破碎带, 宽度 6~10 km。滨海断裂带与上地壳下部的低速层的交接构造部位形成南海北部的重要应力集中带和应变能积聚带, 是地震孕育、发生的深部动力学条件。滨海断裂带的发震构造属 NEE 向与 NW 向相交切的断裂构造型式, 以 NEE 向的滨海断裂带为主, NW 向断裂带为辅。

关键词: 滨海断裂带; 海陆联测; 发震构造

中图分类号: P315.251 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-866 (2010) S0-0010-09

引言

作为南海北部地区的一个重要构造, 滨海断裂带被认为是华南亚板块正常型陆壳与南海亚板块减薄型陆壳的分界断裂^[1], 沿该断裂带历史上曾多次发生 7 级以上大地震^[2, 3]。作为区内最大的活动构造, 滨海断裂带受到众多学者的重视, 该断裂两侧构造特征差异显著: 东南盘是沉降的新生代盆地, 分布有台西南盆地、珠江口盆地、琼东南盆地等油气盆地, 沉积了厚达万米以上的新生界地层, 构造主要为北东东至近东西走向^[4-5], 其北西盘为相对

收稿日期: 2010-09-01

基金项目: 国家自然科学基金 (40976032) 和中科院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-Q05-04-01), NSFC-广东联合基金 (U0933006)。

作者简介: 徐辉龙, 男, 1963 年生, 研究员, 博士生导师. 主要从事海洋地质、活动构造和地震地质学研究. E-mail: hlxu@scsio.ac.cn.

上升的隆起带，构造为大陆延伸入海的北东向华夏系构造^[6]。然而，关于该断裂的构造属性也存在许多不同的认识。李唐根^[7]认为海南岛与华南分属两个块体，中间存在晚古生代的特提斯分支洋，又因华南沿海存在一条香港-汕头变化磁异常带和滨海重力高带，因此将滨海断裂带称为海南-飞弹碰撞结合带；曾维军^[8]也表达过类似意见，认为它是一条中生代聚敛带。姚伯初^[9]认为广东沿海的南澳-香港断裂是一条岩石圈断裂，是一定地质时期的古缝合线。吴进民^[10]则根据中生代北东向断裂的错移和新生代海陆沉积地层的差异，认为它更像是一条新生代早期的断裂。而徐杰^[11]根据基底性质分析认为，滨海断裂带不是陆块之间的碰撞拼贴带，而是发育于华南加里东褶皱带内部的断裂带。

目前，人们对南海北部滨海断裂带的认识还停留在宏观研究阶段，主要通过地形地貌、地层变化、重磁异常、天然地震、卫星影象等方法进行，而南海北部海岸现代兴建的许多重大工程（如核电站、南海石化项目等），其选址的稳定条件要求很高，在这些地区目前仍缺乏断裂最新活动的资料，尤其是滨海活动断裂对其影响的资料。此外，由于受技术条件限制，以往陆上深地震探测与海域深地震探测是分开完成的，无法获得由陆到海的连续地壳结构数据，勘探上在海陆交互带形成一个深地震探测的空白区（图1），而滨海断裂带恰好位于该探测空白区内，制约着我们对滨海断裂带构造属性、南海北部地壳结构、地震活动性和区域地壳稳定性等科学问题的正确认识。

1 南海北部海陆联合深地震探测的新成果

利用气枪震源进行海陆联合的深地震探测是近年兴起的一种新方法，这种方法可以探测海陆过渡带的深部地壳结构特征，从而可以把以前海上和陆上分开进行探测和获得的地壳结构模型连接起来。近年来，随着气枪技术的发展^[12-14]和海陆联测的应用，南海北部陆缘的研究取得了一些进展，2001年和2004年，中科院南海所与广东省地震局合作，先后两次在南海北部进行了海上气枪放炮，陆上地震台站接收的海陆联合深地震探测^[15, 16]，测线分别在南澎列岛和担杆列岛的滨海断裂带，获得了沿测线的深部地壳结构模型^[17]，并发现了在南澎列岛南侧海区存在一条倾向较陡，倾向SE，宽约6 km，向下延伸至莫霍面的P波低速带。该低速带被认为是滨海断裂带在地壳深部造成破碎带的反映，进一步的研究表明这条低速破碎带是1918年南澳大地震的发震构造^[18]。

2004年我们利用中国科学院南海海洋研究所“实验2号”船上新配置的大容量气枪阵（4支1 500立方英寸大气枪，总容量6 000立方英寸）在香港以南的担杆列岛外海域进行了海陆地震联合探测，250多公里外的陆上固定地震台站都能接收到清晰的气枪信号，识别出Pg、Pn、PmP等深震相，气枪的激发效果达到了国际先进水平^[19, 20]。初步探测结果表明，在担杆列岛往海方向约20 km处，水深约40~50 m，存在一个连续的低速破碎带，其宽度在10 km左右，推测可能为滨海断裂带^[21]。然而，这次海陆联测的主要目的是试验新气枪的激发效果，期间没有使用海底地震仪，也没有进行浅部地震探测。由于该区断裂构造十分发育，新构造活动又较为强烈，浅层地震探测缺乏导致浅部结构的不确定性，从而增加了深部结构的多解性。

2010年在国家基金委南海共享航次的支持下，我们在南海北部陆缘完成了两条海陆联

测深地震测线，分别位于珠江口和阳江区域（图 1）。通过初步的处理已获得这两个区域的沉积层特征、地壳和 Moho 面的形态特征，而滨海断裂带的形态也在地震剖面上有所显示。该区具体的地壳结构有待于更进一步的计算和反演。初步的处理结果已表明此次所获得的陆上台站、OBS 和多道地震数据具有较高的质量，为此后的工作奠定了良好基础。下一步将通过运用射线追踪、地震波形模拟、层析成像等技术方法，结合该区构造运动资料对南海北部陆缘的地壳和上地幔深部结构进行详细研究，以查明滨海断裂带的构造形态及其对南海北部陆缘地震带内大地震的控制作用。

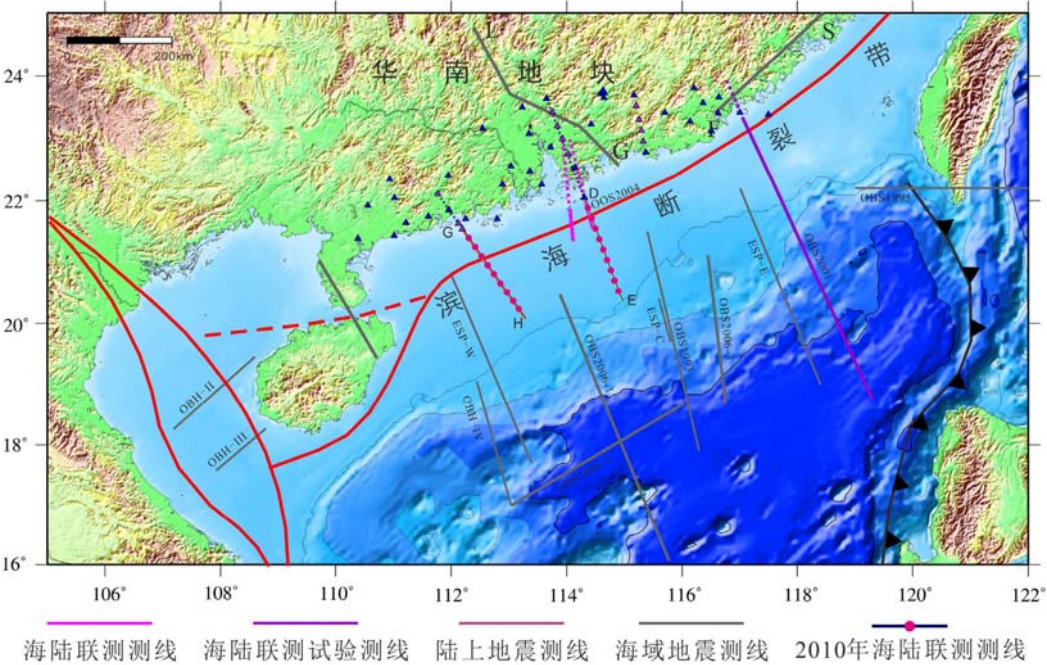


图 1 南海北部的深部地震探测和海陆联合深地震探测测线分布图

Fig.1 The distribution map of deep seismic survey profile and onshore-offshore joint seismic profile in the northern South China Sea

2 南海北部滨海断裂带两侧深部地壳结构变化特征

通过我们在南海东北部和珠江口等进行的深地震海陆联测的剖面资料（图 2、3）可以看出，滨海断裂带在深部地壳结构剖面上表现为倾向 SE、厚约 6~10 km 的低速破碎带，该破碎带切穿上下地壳并延伸至莫霍面，其位置对应着负磁异常梯度带、空间重力异常和布格异常。滨海断裂带的西北侧为华南亚板块的典型陆壳，地壳厚 30 km，上地壳下部存在一层速度为 5.5~5.9 km.s⁻¹、厚度为 3.0~4.0 km 的低速层，埋深约 10~18 km；滨海断裂带东南部为减薄型陆壳，厚 25~28 km，上地壳下部的低速层逐渐减薄并最后尖灭，反映了陆地海洋由正常型陆壳向减薄型陆壳过渡的特征，属于南海亚板块。滨海断裂带为一个上下连续倾向 SE 的低速破碎带，宽度 6~10 km 左右，对应上地壳部位的层速度为 5.3~5.8 km.s⁻¹、

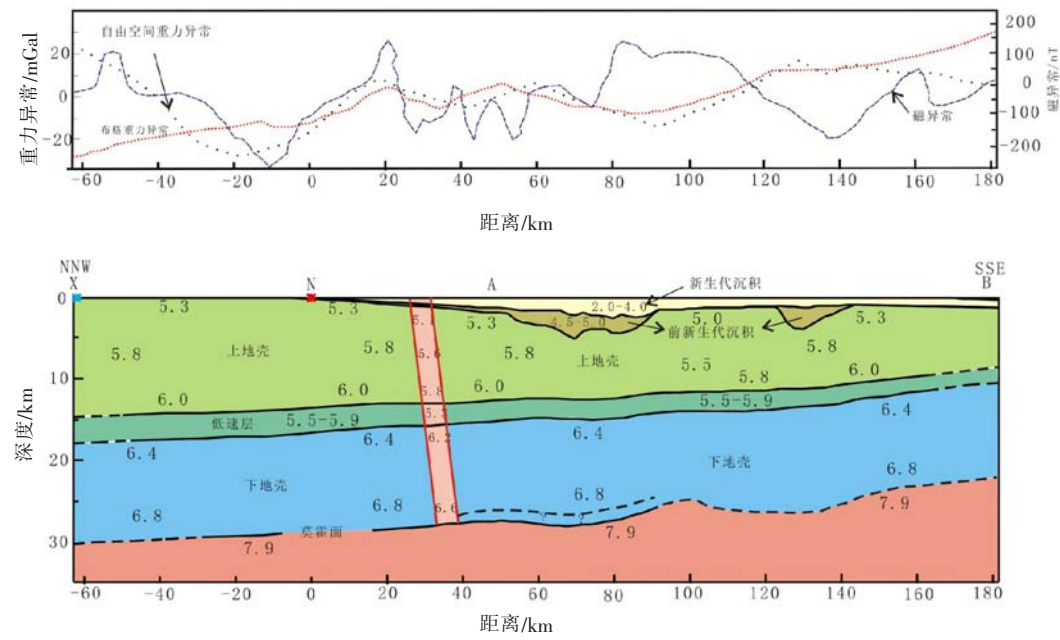


图 2 南海东北部滨海断裂带特征与深部地壳结构^[17]

Fig.2 The characteristics of deep crustal structure of Binhai Fault Zone in the northeastern South China Sea^[17]

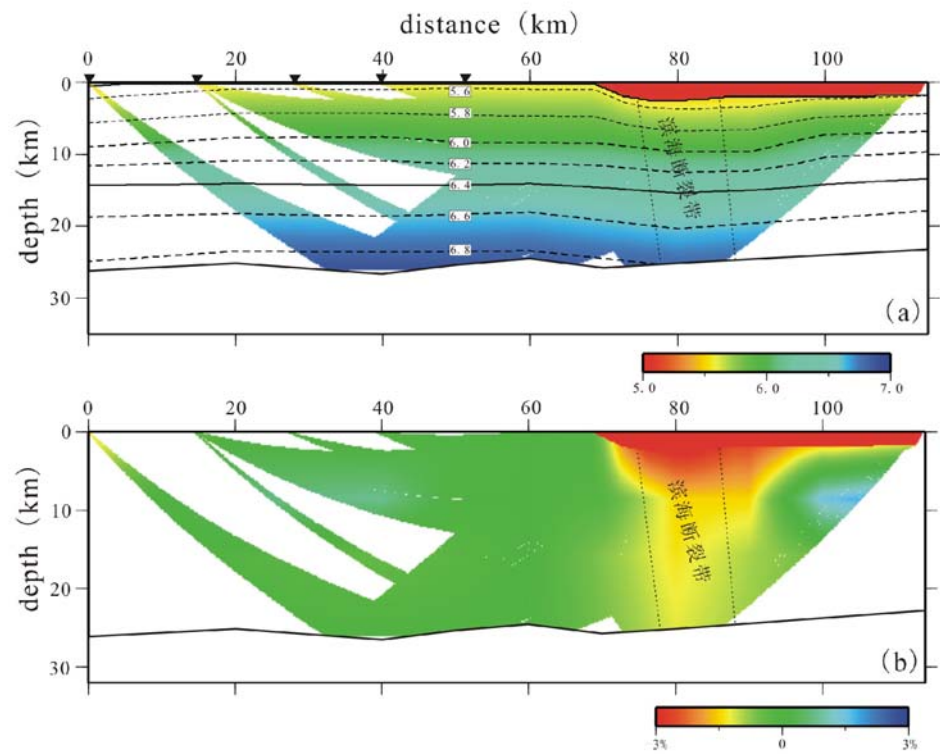


图 3 担杆列岛及其附近海域地壳速度结构剖面及速度扰动图^[22]

Fig.3 The crustal velocity structure profile and velocity perturbation map of Dangan Islands and its vicinity^[22]

而对应于下地壳部位的层速度为 $6.2\sim6.6\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 。同时发现，南海北部上地壳下部存在一个从陆向海渐薄的低速层，这一低速层与滨海断裂带交汇部位成为地震易发区，并控制了南海北部的主要地震活动。同时，NEE 走向的滨海断裂带与华南沿海 NE、NW 向断裂交切华南海岸带，使得该区海岸带出现差异性的构造升降或掀斜，并在交切部位形成地震易发区。

3 南海北部滨海断裂带发育特征

滨海断裂带是华南亚板块正常型陆壳与南海亚板块减薄型陆壳的分界断裂带，该断裂带呈北东东向，大致沿 30~50 m 等深线展布，北与牛山岛-南日岛海外-兄弟屿断裂相连，向西南经广东南澎列岛、红海湾口、担杆列岛、上下川岛、海陵岛，并在琼州海峡东口分叉为两条断裂，其中一分支断裂穿过琼州海峡，进入北部湾；另一分支为主断裂带，沿海南岛东部沿岸展布，在南部与红河断裂带的 1 号断裂交汇，蜿蜒达一千多公里（图 4）。

滨海断裂带在南澎列岛的北西边缘带地貌上表现为由一系列 NEE-SWW 展布的小岛组成的南澎列岛和水下隆起，延长 22 km，宽 2~2.5 km，在其东南岸地势陡峭，断崖发育，高达 40~60 m，而西北岸地势比较平缓，地面自南东向北西倾斜，为一条走向 NEE 的地形突变带。在南澎列岛滨海断裂带由一系列剪切破裂带、片理带、强烈动力变质的片麻状混合岩、条带状混合岩和中基性岩脉组成，剪切破裂面以走向 $N55^{\circ}E$ ，倾向 NW，倾角 72° 的一组占优势。在担杆列岛滨海断裂带由强烈动力变质岩带、花岗片麻岩、玄武岩脉、石英脉等组成。

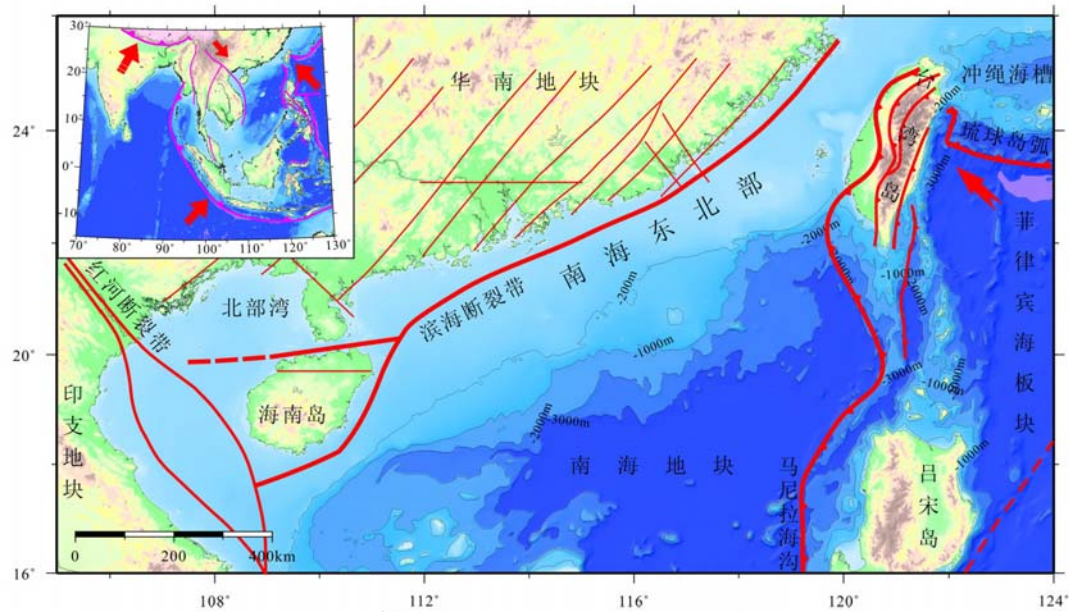


图 4 南海北部滨海断裂带及其构造背景

Fig.4 Tectonic background of the Binhai Fault Zone in northern South China Sea

南海及其邻区的构造应力场发生过多期的演化和转变,从中生代至新生代可分为挤压应力、扩张应力、复杂应力调整和挤压收缩等阶段^[23]。华南沿海地区震源机制解表明南海北部现代应力场为主压应力轴呈 NWW-SEE 向的挤压应力场^[24]。1918 年南澳地震所产生的 NEE 向逆冲断层和 NW 向张性断裂也反映了震源应力场为 NW-SE 向挤压应力场。根据地震地质调查和地球物理探测成果分析,滨海断裂带由两组走向相同,倾向相反的断裂组成。燕山运动末期以前,在 NW-SE 向主压应力场作用下,滨海断裂带主要表现为倾向 NW 的逆冲断裂带,如发育于南澎列岛倾向 NW 的剪切破裂带和动力变质岩带形成于此期;晚白垩纪-古近纪受南海陆缘扩张的裂谷作用,滨海断裂带从挤压变成引张,早期形成的逆冲断层转变正断层并形成倾向 SE 的正断层,如南澎列岛东南岸的高达 40~60 m 的断层崖属此阶段的产物。上新世以来,菲律宾海板块与吕宋-台湾岛弧的碰撞,对南海东北部构造有重要的影响,在 NWW 向的挤压作用下,吕宋岛弧仰冲于南海洋壳之上,形成反向岛弧和马尼拉海沟,南海大陆边缘再次受到 NWW-SEE 向的挤压,滨海断裂带再次转化为压冲状态。

4 南海北部滨海断裂带发震构造特征

地震的孕育、发生与深部结构环境密切相关,壳内低速层、应力导层的存在使应力导层上下的物质分别受到破坏和流动,而使应力集中到这一应力导层(即低速层),强震就发生在其中^[25、26]。南海北部以滨海断裂带为界,断裂带西北部为华南亚板块的典型陆壳,地壳厚 30 km,上地壳下部存在一个低速层,埋深约 10~18 km;断裂带东南部为南海亚板块减薄型陆壳,厚 25~28 km,上地壳下部的低速层逐渐减薄并最后尖灭。滨海断裂带为一个上下连续倾向 SE 的低速破碎带,宽度 6~10 km 左右。上地壳下部的低速层和滨海断裂带这一低速破碎带组成南海北部的重要低速层和应力导层,成为该区地壳形变软弱带,由于上地壳下部的低速层与滨海断裂带低速层的交接部位与相邻地壳层物质性状差异导致层间滑动及应变能的积累,成为地震多发区域。滨海断裂带这一低速破碎带与上地壳下部低速层的交接构造部位形成南海北部陆缘的重要应力集中带和应变能积聚带,深度 10~18 km,该带在诱发地震和地壳构造演化中起着极为重要的作用,是地震孕育、发生的深部动力学条件。因此滨海断裂带控制了华南沿海所有 $M \geq 7$ 级的地震,是南海东北部的重要控震构造和发震构造。

我们对 1918 年南澳大地震进行了详细的地震地质考察和记录史料比较研究分析,确定该地震的震中位于 NEE 向滨海断裂带与 NW 向黄岗水断裂带的交汇处,震级为 $M7.5$,震源深度 15 km。地震造成地表破坏强烈,在东山岛有该地震所形成的北东东向逆冲断层、北西向张性断裂及地裂缝等强烈地形变,地震的震源应力场为 NW-SE 向挤压,NE-SW 向拉张。我们发现沿滨海断裂带发生的 $M \geq 7$ 级的地震震中一般位于 NEE 向滨海断裂带与 NW 向断裂带的交汇处,地震所产生的 NEE 向逆冲断层和 NW 向张性断裂反映了地震的震源应力场为 NW-SE 向挤压,NE-SW 向拉张,与区域构造应力场一致;而发震构造属 NEE 向与 NW 向相交切的断裂构造型式,以 NEE 向的滨海断裂带为主,NW 向断裂带为辅。

5 结论

利用气枪震源进行海陆联合的深地震探测是研究海陆过渡带的深部地壳结构特征和滨海断裂带的有效的地球物理勘探方法,填补了南海北部海陆过渡带深部结构的研究空白,为进行海陆对比和滨海断裂带研究以及今后类似的研究工作打下了基础,从而可以把以前海上和陆上分开进行探测和获得的地壳结构模型连接起来。

根据海陆联合深地震探测的结果,南海北部以滨海断裂带为界,断裂带西北部为华南亚板块的典型陆壳,地壳厚 30 km,上地壳下部存在一层速度为 $5.5\sim 5.9\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 、厚度为 3.0~4.0 km 的低速层,埋深约 10~18 km;断裂带东南部为南海亚板块减薄型陆壳,厚 25~28 km,上地壳下部的低速层逐渐减薄并最后尖灭。滨海断裂带为一个上下连续倾向 SE 的低速破碎带,宽度 6~10 km。

根据地震地质调查和地球物理探测成果分析,滨海断裂带由两组走向相同,倾向相反的断裂组成。燕山运动末期以前,滨海断裂带主要表现为倾向 NW 的逆冲断裂带;晚白垩纪-古近纪受南海陆缘扩张的裂谷作用,滨海断裂带从挤压变成引张,早期形成的逆冲断层转变正断层并形成倾向 SE 的正断层;上新世以来,菲律宾海板块与吕宋-台湾岛弧的碰撞,对南海东北部构造有重要的影响,在 NWW 向的挤压作用下,吕宋岛弧仰冲于南海洋壳之上,形成反向岛弧和马尼拉海沟,南海大陆边缘再次受到 NWW-SEE 向的挤压,滨海断裂带再次转化为压冲状态。

在深部地壳结构剖面上滨海断裂带表现为低速破碎带,它与上地壳下部低速层的交接构造部位形成南海北部的重要应力集中带和应变能积聚带,深度 10~18 km,该带在诱发地震和地壳构造演化中起着极为重要的作用,是地震孕育、发生的深部动力学条件。滨海断裂带控制了华南沿海所有 $M \geq 7$ 级的地震,这些强震一般发生在 NEE 向滨海断裂带与 NW 向断裂带的交汇处,其发震构造属 NEE 向与 NW 向相交切的断裂构造型式,以 NEE 向的滨海断裂带为主, NW 向断裂带为辅。

参考文献:

- [1] Xu H L, Qiu X L, Zhao M H, et al. Characteristics of the crustal structure and hypocentral tectonics in the epicentral area of Nan'ao earthquake ($M7.5$), the northeastern South China Sea [J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51 (S II): 96-106.
- [2] 刘以宣. 华南沿海区域断裂构造分析 [M]. 北京: 地震出版社, 1981.
- [3] 魏柏林, 冯绪敏, 陈定国. 东南沿海地震活动特征 [M]. 北京: 地震出版社, 2001.
- [4] 龚再升, 李思田, 谢泰俊, 等. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [5] 龚再升, 李思田. 南海北部大陆边缘盆地油气成藏动力学研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [6] 李四光. 地质力学概论 [M]. 北京: 科学出版社, 1973.
- [7] 李唐根, 邱燕, 姚永坚. 大地构造特征 [A]. 刘光鼎主编. 中国海域及邻域地球物理特征 [C]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [8] 曾维军. 广州-巴拉望地质断面 [A]. 刘光鼎主编. 中国海域及邻域地球物理特征 [C]. 北京: 科学出版社, 1992.

- [9] 姚伯初, 曾维军, 陈艺中等. 南海北部陆缘东部的地壳结构 [J]. 地球物理学报, 1994, 37 (1) : 27-35.
- [10] 吴进民. 南海地质构造深化的若干问题 [A]. 陈颙等主编. 寸丹集 (庆贺刘光鼎院士工作 50 周年学术论文集) [C]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [11] 徐杰, 张进, 周本刚, 等. 关于南海北部滨海断裂带的研究 [J]. 华南地震, 2006, 26 (4): 8-13.
- [12] Nazareth J J, Clayton R W. Crustal structure of the Borderland-Continent Transition Zone of southern California adjacent to Los Angeles [J]. J Geophys Res, 2003, 108 (B8) , 2404, doi:10.1029/2001JB000223.
- [13] Van Avendonk HJA, Holbrook W S, Okaya D, et al. Continental crust under compression: A seismic refraction study of South Island Geophysical Transect I, South Island, New Zealand [J]. J Geophys Res, 2004, 109 (B06302) , doi:10.1029/2003JB002790.
- [14] McIntosh K, Nakamura Y, Wang T K, et al. Crustal-scale seismic profiles across Taiwan and the western Philippine Sea [J]. Tectonophysics, 2005, 401: 23-54.
- [15] 丘学林, 赵明辉, 叶春明, 等. 南海东北部海陆联测与海底地震仪探测 [J]. 大地构造与成矿学, 2003, 27 (4) : 295-281.
- [16] 丘学林, 陈颙, 朱日祥, 等. 大容量气枪震源在海陆联测中的应用: 南海北部试验结果分析 [J]. 科学通报, 2007, 52 (1) : 1-7.
- [17] 赵明辉, 丘学林, 叶春明, 等. 南海东北部海陆联测与滨海断裂带两侧地壳结构分析 [J]. 地球物理学报, 2004, 47 (5) : 845-852.
- [18] 徐辉龙, 丘学林, 赵明辉, 等. 南海东北部南澳大地震 ($M=7.5$) 震中区的地壳结构特征与震源构造 [J]. 科学通报, 2006, 51(S2): 83-91.
- [19] 夏少红, 丘学林, 赵明辉, 等. 香港与珠三角地区海陆联合地震探测的数据处理 [J]. 热带海洋学报, 2007, 26 (1) : 35-38.
- [20] 赵明辉, 丘学林, 夏少红, 等. 大容量气枪震源及其波形特征 [J]. 地球物理学报, 2008, 51 (2) : 558-565.
- [21] 夏少红, 丘学林, 赵明辉 等. 香港外海域海陆地震联测及深部地壳结构研究 [J]. 地球物理学进展, 2008, 23 (5) : 1389-1397.
- [22] Shaohong Xia, Minghui Zhao, Xuelin Qiu, et al. Crustal structure in an onshore-offshore transitional zone near Hong Kong, northern South China Sea [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2010, 37:460-472.
- [23] 丘学林, 刘以宣. 南海及其邻区现代构造应力场初探 [J]. 热带海洋, 1989, 8 (2) : 84-92.
- [24] 魏柏林, 徐辉龙, 谢明富. 东南沿海地震区的现代构造应力场 [J]. 华南地震, 1996, 16 (4) : 11-19.
- [25] 马杏垣. 全球地学断面计划 [A]. 见: 国家地震局地质研究所主编. 现今地球动力学研究及其应用 [C]. 北京: 地震出版社, 1994, 5-9.
- [26] 姜本鸿, 袁登维, 吴玉华. 壳内低速层与地震活动的关系 [J]. 地质科技情报, 1992, 11 (4) : 9-15.

Studies on the Binhai Fault Zone in the Northern South China Sea by the Deep Geophysical Exploration and its Seismogenic Structure

XU Huilong¹, YE Chunming², QIU Xuelin¹, SUN Jinlong¹, XIA Shaohong¹


(1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 2. Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China)

Abstract: The Binhai Fault Zone (BFZ) is the boundary fault of the South China subplate and South China Sea subplate, and is an important earthquake –controlling and –triggering structure in the northern margin of South China Sea. To investigate the deep crustal structure across the onshore–offshore transitional zone and BFZ of northern South China Sea, onshore–offshore seismic explorations were carried out in this area. According to the exploration results, the northern South China Sea is divided into two parts by the BFZ. The northwest side of the BFZ is a typical continental crust that belongs to the South China subplate. Its thickness is 30 km. A low velocity layer is found in the lower part of the upper crust. Its velocity is 5.5~5.9 km/s and its thickness is 3.0~4.0 km. The layer is buried at a depth of 10~18 km. The southeast side of the BFZ is a thinning continental crust, which has a thickness of about 25~28 km. The low velocity layer thins gradually and eventually wedges out to the seaside. The BFZ is an up–to–down–continuous low velocity zone, which dips SE and has a width of 6~10 km. The intersection part of the BFZ and the low velocity layer forms an important stress concentrating and strain energy accumulating zone, which serves as a deep dynamical condition for earthquake’s pregnancy and occurrence. The pattern of BFZ seismogenic structure is constituted by mutually cutting faults of trending NEE and NW, respectively, where the NEE–trending BFZ is dominant and the NW fault subdominant.

Keywords: The Binhai Fault Zone; Onshore–offshore seismic exploration; Seismogenic structure

作者: [徐辉龙](#), [叶春明](#), [丘学林](#), [孙金龙](#), [夏少红](#), [XU Huilong](#), [YE Chunming](#), [QIU Xuelin](#), [SUN Jinlong](#), [XIA Shaohong](#)

作者单位: [徐辉龙, 丘学林, 孙金龙, 夏少红, XU Huilong, QIU Xuelin, SUN Jinlong, XIA Shaohong \(中国科学院南海海洋研究所边缘地质重点实验室, 广东, 广州, 510301\)](#), [叶春明, YE Chunming \(广东省地震局, 广东, 广州, 510070\)](#)

刊名: [华南地震](#) 

英文刊名: [SOUTH CHINA JOURNAL OF SEISMOLOGY](#)

年, 卷(期): 2010, 30(z1)

被引用次数: 0次

参考文献(52条)

1. [Shaohong Xia; Minghui Zhao; Xuelin Qiu](#) [Crustal structure in an onshore-offshore transitional zone near Hong Kong, northern South China Sea](#) 2010
2. [Xu H L; Qiu X L; Zhao M H](#) [Characteristics of the crustal structure and hypocentral tectonics in the epicentral area of Nan'ao earthquake \(M7.5\), the northeastern South China Sea](#) 2006(S II)
3. [夏少红; 丘学林; 赵明辉](#) [香港外海域海陆地震联测及深部地壳结构研究](#) 2008(05)
4. [刘以宣](#) [华南沿海区域断裂构造分析](#) 1981
5. [赵明辉; 丘学林; 夏少红](#) [大容量气枪震源及其波形特征](#) [期刊论文] - [地球物理学报](#) 2008(02)
6. [魏柏林; 冯绚敏; 陈定国](#) [东南沿海地震活动特征](#) 2001
7. [夏少红; 丘学林; 赵明辉](#) [香港与珠三角地区海陆联合地震探测的数据处理](#) [期刊论文] - [热带海洋学报](#) 2007(01)
8. [龚再升; 李思田; 谢泰俊](#) [南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集](#) 1997
9. [徐辉龙; 丘学林; 赵明辉](#) [南海东北部南澳大地震 \(M=7.5\) 震中区的地壳结构特征与震源构造](#) 2006(z2)
10. [龚再升; 李思田](#) [南海北部大陆边缘盆地油气成藏动力学研究](#) 2004
11. [赵明辉; 丘学林; 叶春明](#) [南海东北部海陆联测与滨海断裂带两侧地壳结构分析](#) [期刊论文] - [地球物理学报](#) 2004(05)
12. [李四光](#) [地质力学概论](#) 1973
13. [丘学林; 陈颐; 朱日祥](#) [大容量气枪震源在海陆联测中的应用: 南海北部试验结果分析](#) [期刊论文] - [科学通报](#) 2007(01)
14. [李唐根; 邱燕; 姚永坚](#) [大地构造特征](#) 1992
15. [Van Avendonk H J A; Holbrook W S; Okaya D](#) [Continental crust under compression: A seismic refraction study of South Island Geophysical Transect I, South Island, New Zealand](#) 2004(B06302)
16. [曾维军](#) [广州-巴拉望地质断面](#) 1992
17. [Nazareth J J; Clayton R W](#) [Crustal structure of the Borderland-Continent Transition Zone of southern California adjacent to Los Angeles](#) 2003(B8)
18. [姚伯初; 曾维军; 陈艺中](#) [南海北部陆缘东部的地壳结构](#) 1994(1)
19. [徐杰; 张进; 周本刚](#) [关于南海北部滨海断裂带的研究](#) [期刊论文] - [华南地震](#) 2006(04)
20. [吴进民](#) [南海地质构造深化的若干问题](#) 1998
21. [吴进民](#) [南海地质构造深化的若干问题](#) 1998
22. [徐杰; 张进; 周本刚; 陈国光](#) [关于南海北部滨海断裂带的研究](#) 2006(4)
23. [Xu H L; Qiu X L; Zhao M H](#) [Characteristics of the crustal structure and hypocentral tectonics in the epicentral area of Nan'ao earthquake \(M7.5\), the northeastern South China Sea](#) 2006(S II)
24. [Nazareth J J; Clayton R W](#) [Crustal structure of the Borderland-Continent Transition Zone of southern California adjacent to Los Angeles](#) 2003(B8)
25. [姚伯初; 曾维军; 陈艺中](#) [南海北部陆缘东部的地壳结构](#) 1994(01)
26. [Van Avendonk H J A; Holbrook W S; Okaya D](#) [Continental crust under compression: A seismic refraction study of South Island Geophysical Transect I, South Island, New Zealand](#) 2004(B06302)
27. [曾维军](#) [广州-巴拉望地质断面](#) 1992

28. McIntosh K, Nakamura Y, Wang T K [Crustal-scale seismic profiles across Taiwan and the western Philippine Sea](#) 2005
29. 李唐根; 邱燕; 姚永坚 [大地构造特征](#) 1992
30. 丘学林, 赵明辉, 叶春明, 王天楷, 王平, 张毅祥, 夏戡原, 李昭兴 [南海东北部海陆联测与海底地震仪探测](#) 2003(4)
31. 李四光 [地质力学概论](#) 1973
32. 丘学林, 陈颢, 朱日祥, 徐辉龙, 施小斌, 叶春明, 赵明辉, 夏少红 [大容量气枪震源在海陆联测中的应用: 南海北部试验结果分析](#) 2007(4)
33. 龚再升; 李思田 [南海北部大陆边缘盆地油气成藏动力学研究](#) 2004
34. 赵明辉, 丘学林, 叶春明, 夏戡原, 黄慈流, 谢剑波, 王平 [南海东北部海陆深地震联测与滨海断裂带两侧地壳结构分析](#) 2004(5)
35. 龚再升; 李思田; 谢泰俊 [南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集](#) 1997
36. 徐辉龙, 丘学林, 赵明辉 [南海东北部南澳大地震\(M=7.5\)震中区的地壳结构特征与震源构造](#) 2006(z2)
37. 魏柏林; 冯绚敏; 陈定国 [东南沿海地震活动特征](#) 2001
38. 夏少红, 丘学林, 赵明辉, 叶春明, 陈营华, 徐辉龙, 王平 [香港与珠三角地区海陆联合地震探测的数据处理](#) 2007(1)
39. 刘以宣 [华南沿海区域断裂构造分析](#) 1981
40. 赵明辉, 丘学林, 夏少红, 王平, 徐辉龙, 叶春明, 康英 [大容量气枪震源及其波形特征](#) 2008(2)
41. 姜本鸿; 袁登维; 吴玉华 [壳内低速层与地震活动的关系](#) 1992(04)
42. 夏少红, 丘学林, 赵明辉 [香港外海域海陆地震联测及深部地壳结构研究](#) 2008(5)
43. 马杏垣 [全球地学断面计划](#) 1994
44. Shaohong Xia, Minghui Zhao, Xuelin Qiu [Crustal suucture in an onshore-offshore transitional zone near Hong Kong, northern South China Sea](#) 2010
45. 魏柏林; 徐辉龙; 谢明富 [东南沿海地震区的现代构造应力场](#) 1996(04)
46. 丘学林, 刘以宣 [南海及其邻区现代构造应力场初探](#) 1989(2)
47. 丘学林; 刘以宣 [南海及其邻区现代构造应力场初探](#) 1989(02)
48. 魏柏林, 徐辉龙, 谢明富 [东南沿海地震区的现代构造应力场](#) 1996(4)
49. 丘学林; 赵明辉; 叶春明 [南海东北部海陆联测与海底地震仪探测\[期刊论文\]-大地构造与成矿学](#) 2003(04)
50. 马杏垣 [全球地学断面计划](#) 1994
51. McIntosh K; Nakamura Y; Wang T K [Crustal-scale seismic profiles across Taiwan and the western Philippine Sea](#) 2005(1-2)
52. 姜本鸿, 袁登维, 吴玉华 [壳内低速层与地震活动的关系](#) 1992(4)

相似文献(3条)

1. 期刊论文 [赵明辉, 丘学林, 叶春明, 夏戡原, 黄慈流, 谢剑波, 王平](#) [南海东北部海陆深地震联测与滨海断裂带两侧地壳结构分析](#) - [地球物理学报](#) 2004, 47(5)
- 南海东北部首次成功实施海陆联合深地震探测, 填补了海陆过渡带深地震探测的空白. 利用该次海陆联测地震数据, 通过数据处理、震相分析、射线追踪、走时模拟等方法, 获得了滨海断裂带附近的纵波地壳速度结构, 探明了海陆联测剖面中滨海断裂带可能位置. 地壳速度结构为陆壳结构, 地壳厚度由陆地向海区逐步变薄; 在上地壳下部普遍存在一层速度为 $5.5 \sim 5.9 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 、厚度为 $2.5 \sim 4.0 \text{ km}$ 的低速层, 并向海区方向减薄, 该区未发现明显的高速层. 滨海断裂带为纵向低速带, 位于南澳台东南 35 km 处, 对应于重、磁异常带, 断裂带断至莫霍面, 是华南陆区正常型陆壳与海区减薄型陆壳的分界地壳断裂.
2. 期刊论文 [孙金龙, 夏少红, 徐辉龙, 丘学林, 朱俊江, SUN Jinlong, XIA Shaohong, XU Huilong, QIU Xuelin, ZHU Junjing](#) [2010年南海北部海陆联测项目简介及初步成果](#) - [华南地震](#) 2010, 30(z1)
- 南海北部海陆联合深地震探测项目通过海陆联测研究南海北部海陆过渡带的深部地壳结构特征, 揭示滨海断裂带在该区的空间方位特征及构造属性, 进而分析其对该区大地震的控制作用并对发震构造进行讨论. 海陆联测共完成2条测线, 分别位于珠江口和阳江区域, 获得了高质量的数据, 为下一步进行海陆过渡带地壳结构反演和滨海断裂带构造特征研究奠定了良好基础.
3. 期刊论文 [赵明辉, 丘学林, 夏戡原, 谢剑波, 叶春明](#) [南海东北部海陆联测地震数据处理及初步结果](#) - [热带海洋学报](#) 2004, 23(1)
- 为开展南海东北部海陆过渡带和滨海断裂带横向往深部结构研究, 利用陆上流动地震台记录与海上气枪放炮相结合的方法, 首次在广东汕头沿海进行了海陆联合深地震探测. 详细介绍了该次海陆联测地震数据处理的主要步骤与流程, 并针对海陆联测地震数据和常用地震软件编写了3个格式转换程序. 应用这3个程序和SAC、SU等地震软件得到了初步的数据处理结果. 在南澳台和新塘台的单台地震记录剖面中可以清晰地识别出多种震相, 得到许多有用的地震信息, 证明海陆联测的野外工作和第1阶段的数据处理工作是成功的, 为下一步地壳深部结构的研究打下了良好的基础.

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hndz2010z1003.aspx

授权使用: 青岛海洋地质研究所(wfhyqdhy), 授权号: 8637086f-6959-417c-9f1a-9ed200d6d961

下载时间: 2011年4月27日