

# 南海北部陆缘西沙海槽—台湾恒春半岛地学断面

万 玲<sup>1,2</sup> 曾维军<sup>1</sup> 吴能友<sup>3</sup> 姚伯初<sup>1</sup> 朱本铎<sup>1</sup> 陈泓君<sup>1</sup>

(1. 广州海洋地质调查局, 广东 广州 510760; 2. 中国科学院广州地球化学研究所边缘海实验室, 广东 广州 510640;  
3. 中国科学院能源所水合物研究中心, 广东 广州 510640)

**摘要:**利用南海北部陆缘及邻区的地质、地球物理资料,综合编制了印支半岛东缘—西沙海槽—南海北部陆坡—台湾恒春半岛—菲律宾海地学断面,从地形地貌、地球物理场、地质构造特征和时空演化等多个方面综合揭示了南海北部陆缘洋陆转换带岩石圈结构及其相互作用,对深入认识南海北部陆缘构造格局和深水区油气地质具有重要意义。

**关键词:**南海北部;地学断面;岩石圈结构

**中图分类号:**P544 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)03-0564-09

南海北部陆缘地学断面呈北东向,西起印支半岛东缘的广东群岛附近,经越东陆架进入西沙海槽西南端,沿西沙群岛北缘,从西沙海槽东端穿出后沿南海北部陆坡向北东方向延伸到南海海盆东北部,之后折向北北西,在台湾浅滩南侧斜坡脚转向东,穿过台湾恒春半岛及其东侧的台湾纵谷南端和吕宋火山弧,进入菲律宾海盆。断面总体呈北东向,全长约 1800 km,穿过了南海西缘断裂带、马尼拉海沟带的北延段和台湾纵谷(图 1)。断面穿过的构造单元有印支陆块、中西沙地块、南海北部陆缘地块和菲律宾海板块,主体经过地区为南海北部邻近洋盆边缘的陆坡区,这一地区的深部结构研究有数十年的历史<sup>[1-12]</sup>,积累了重磁、热流、多道反射地震、双船地震(ESP)、OBS、声纳浮标、天然地震面波层析成像等多种资料。此次地学断面编制试图通过各种资料的综合分析和利用,揭示南海北部洋陆过渡带复杂结构的变化特点,从浅、中、深多层次、多角度揭示了南海北部陆缘岩石圈的结构特征。地质构造部分包括断面所经过区域的地形地貌、地层(沉积)及断裂构造,地球物理场包括重力、磁力、地热流以及地壳结构。

## 1 地形地貌

地形地貌特征反映了地球内部和外部动力的联合作用。断面西端从平均海拔为 1000 m 的印支半岛进入宽约数十千米的越东陆架区,水深线沿海岸边缘呈北北西向密集展布。往北东方向,断面进入地形十分复杂的南海北部陆坡区,其总体特征表现为水深变化大,以 200 m 水深线与陆架分开,以 3400~3700 m 水深线与深海平原分界;陆坡总体西宽东窄,珠江口以东陆坡宽度 142~290 km,珠江口以西陆坡宽度超过 300 km,在西沙群岛一带宽度最大,中间受西沙海槽切割。在西沙海槽西南端,不到 10 km 距离内,水深从 200 m 陡然降至 500 m,西沙海槽在此处由南北向转为北东向,槽内水深向北东方向加深,在大约 111°30'E 附近,西沙海槽变为近东西向延伸,向东与南海西北海盆连接。在西北海盆与中央海盆北侧的陆坡区,大约以水深 1800 m 为界,上部地形较平缓,而水深在 1800~3400 m 之间的地形十分陡峭,坡度达  $50 \times 10^{-3}$ ,构成陡坡带。该陡坡带从东沙群岛南坡折向东沙群岛东至东北部,向北东

收稿日期:2009-05-25;改回日期:2009-05-30

基金项目:国土资源部“中国岩石圈三维结构”专项(20010103),国家基础研究计划(973)项目(2007CB411705)资助。

作者简介:万玲,女,1969年生,博士,教授级高级工程师,主要从事南海区域地质、深部构造及盆地动力学方面的研究;

E-mail:wanling@163.com。

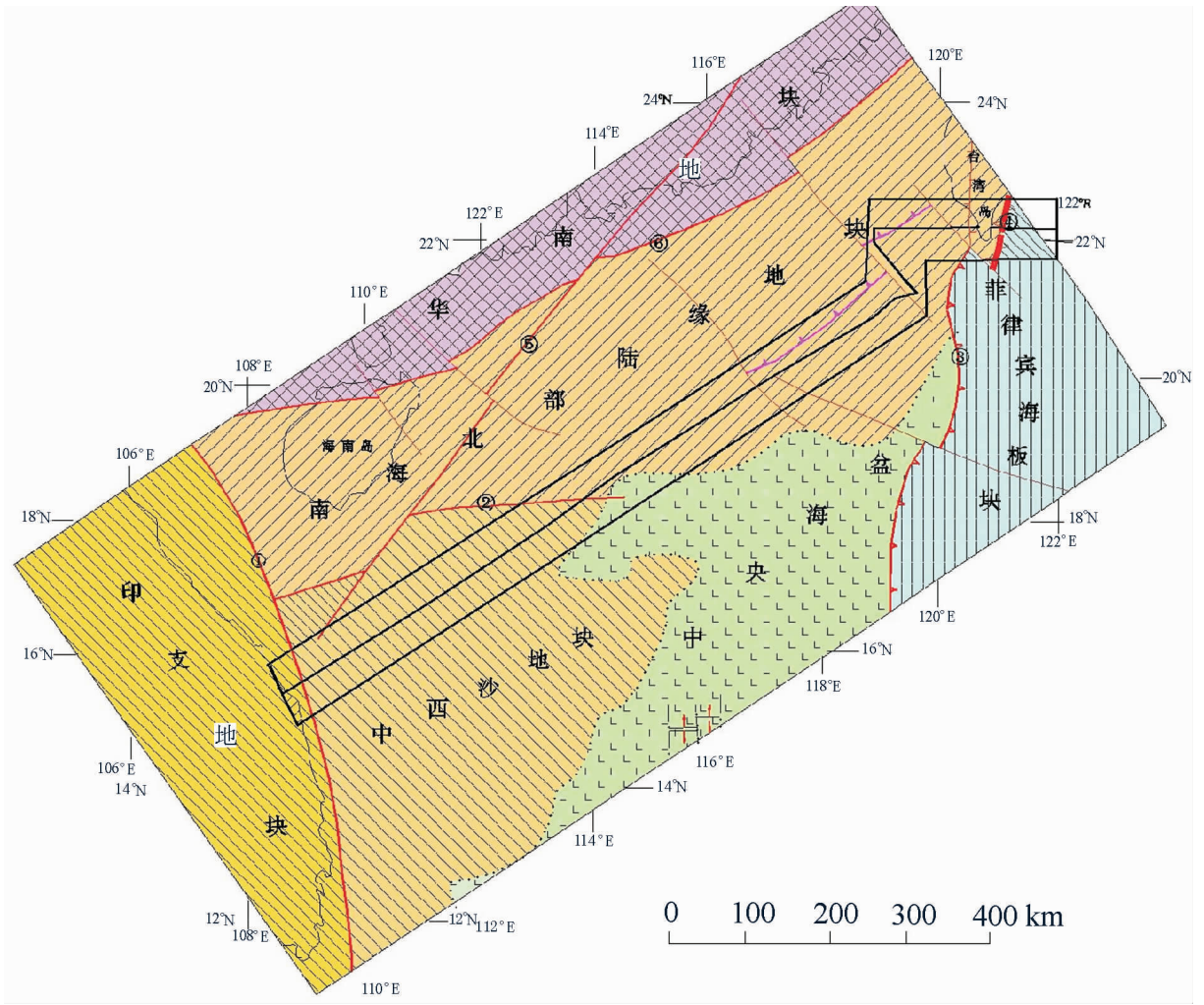


图 1 南海北部构造纲要图

- ①—南海西缘断裂; ②—西沙海槽断裂; ③—马尼拉海沟俯冲带; ④—台湾纵谷断裂;
- ⑤—莲花山断裂; ⑥—琼北-珠外断裂

Fig.1 Tectonic framework of the northern margin of the South China Sea

- ① -Fault in the western margin of the South China Sea; ②-Fault of the Xisha Trough; ③-Subduction in Manila fosse; ④-Fault of longitudinal rift in Taiwan; ⑤-Fault of Lianghuashan; ⑥ -Fault of northern Hainan beyond Zhuhai

方向延伸至台湾浅滩南部,向东折向台湾岛西南,陆坡走向变为北北向。断面沿这一陡坡带延伸到东沙群岛南,穿过北坡海山后,进入一个深海平台区,该处水深在 3000 m 左右,地势平坦,其间被北北向的台湾浅滩南峡谷所分割,平台东侧为北北向的澎湖水道,峡谷和水道共同汇入马尼拉海沟。断面穿过峡谷南段和澎湖水道北段,向东切过台湾西南陆坡,即高坪斜坡,然后进入台湾南部的恒春半岛。恒春半岛地势呈近南北向,是台湾中央山脉的南延。半岛东侧地势陡峻,在数千米内水深陡然降到 1200 m。恒春半岛向南延伸到海区,被称作恒春脊,在地形上仍表现为东陡西缓之势。恒春半岛与恒春脊之东水深

变化较大,近邻恒春脊是台湾纵谷在海区的南延,这是呈一条近南北向的狭长谷地,水深 1200 m 左右。位于谷地东侧的花东脊隆起东陡西缓,其东侧是北吕宋海槽在台湾东部的北延部分,该处海槽呈狭长带状,紧随吕宋火山岛弧的北段展布,岛弧东西两侧水深变化剧烈,跨入菲律宾海盆,地形渐为平坦,水深增至 3000 m 以上。

## 2 地球物理特征

### 2.1 磁力异常

印支以及粤东陆架、陆坡区以大片负磁异常为背景,其上叠加了局部的低值正异常,正异常往往是

海山或岛礁的反映。西沙海槽往东与西北海盆地区表现为高幅值正磁异常,最大值可达 200 nT,异常呈近东西向展布,这与此处地壳的强烈拉张引起地幔物质的上涌以及洋壳的发育有关。紧邻其北侧是一条亦呈近东西向的负磁异常带,负异常幅值达 300 nT,具有南正北负正负异常相伴的特征。在南海北部下陆坡与深海洋盆之间的磁异常面貌呈现复杂多变的特点,磁异常类型除南正北负的伴生异常外,还有伴生关系不明显的正负异常,异常方向以北东东向为主。台湾西南海域磁异常极为平静,为大片低值负磁异常区,台湾东南部则以正磁异常为主,沿吕宋火山岛弧是一条南北向的高值磁异常带,幅值在 50 nT 以上。

## 2.2 空间重力异常 ( $\Delta gF$ )

在越东陆架区是一条近南北向的重力高带,在广东群岛附近重力值达到  $15 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。西沙海槽为重力低值带,最低值为  $-40 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。在海槽东面西北海盆北缘出现北正南负的重力异常特征,这一现象在中央海盆北缘亦有反映,被解释为被动大陆边缘重力效应,是海底地形急剧变化以及洋陆边界处莫霍面起伏变化所引起的综合反映。

位于西沙海槽南侧的西沙隆起区,异常复杂多变,正负异常相间,局部高值正异常对应了一系列岛礁与海山。南海北部下陆坡区以较高幅值异常为特征,东沙隆起及其东南斜坡上异常值最大,异常方向以北东向、北西为主。台湾浅滩对应了一条重力异常高带,最大值达  $50 \times 10^{-5} \sim 60 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ,往西南方向与东沙隆起重力高值带相连。位于浅滩南侧的台西南盆地重力特征以正异常为主体,异常值在  $\pm 10 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$  变化。台湾岛南部的恒春半岛是北部中央山脉的南延,重力上与中央山脉连成一体,表现为异常高幅值,台湾岛东西两侧为两条南北向的异常变化梯级带,尤以东侧变化梯度最大,与该处地形变化以及地壳结构的变化有关。台湾纵谷南延端以负异常为特征,吕宋火山弧重力异常为高值正异常,向北与海岸山脉异常带连成一体,形成一条醒目的南北向异常带,是火山弧的反映。但吕宋弧与海岸山脉的火成岩在形成时代上有所差别,海岸山脉火山弧以中新世火成岩为主,往南的绿岛、兰屿、小兰屿、巴坦岛和巴布延岛、吕宋火山岛时代逐渐变新,吕宋则为现代火山。

## 2.3 地热流

剖面西段具有较高的热流背景值(图 2),高值

热流区段出现在西沙海槽东部西北海盆处,最大值可达  $110 \text{ mW/m}^2$ ,磁异常呈现大幅度起伏变化,反映了新生代期间西北海盆扩张伴随的强烈断裂作用与岩浆活动。剖面东段热流值相对较低,低值区段出现在东沙隆起东南侧以及台西南盆地,热流值低于  $55 \text{ mW/m}^2$ ,而该处磁异常变化也十分平缓,邻近南海东北部的磁寂区。低值热流可能与该地区处于南海北部陆缘前新生代发育区有关。

## 3 地质构造特征

### 3.1 新生代沉积

断面西端粤东岸外陆架区一条近南北向的坳陷内发育了厚达 7000 m 的新生代沉积,该坳陷属莺歌海盆地的南延部分,沉积发育特征类似于莺歌海盆地,受南海西缘断裂的影响,沉积厚度大,在坳陷北部的盆地主体部位沉积厚度可逾 15000 m,其中上中新统一第四纪沉积最大厚度达 5000~6000 m。据钻井揭示,盆地内仅第四纪海相地层厚度约为 2000 m,而邻近的北部湾盆地,沉积特征迥然不同,古近系厚(最大厚度为 3000~4000 m),其上沉积较薄,整个新近系和第四系沉积总厚度才 2000 余米。

在南海北部陆坡区新生代沉积厚度变化较大,在西沙、东沙隆起区沉积层厚度一般较薄,大多不超过 3000 m,仅在一些断裂附近局部发育更大厚度的沉积层。但沿南海北部下陆坡的大型坳陷或裂陷中,却发育有厚度较大的新生代沉积,如西沙海槽内新生代沉积厚度可超过 6000 m,珠江口盆地南部珠二坳陷的白云凹陷,新生代沉积厚度达 12000 m<sup>[3]</sup>,东沙隆起东南的潮汕坳陷,沉积厚度最大达 8000 m。位于台湾浅滩南的台西南盆地因邻近台湾岛和台湾浅滩这样的物源区,盆地内中新世沉积厚度累积最大超过 10000 m。地震剖面显示台西南盆地基底反射面之下存在一套强烈变形的反射层,在东沙隆起东侧,其厚度可达 5000 m,而往东厚度减少为 1000~3000 m,据区域地质以及钻井资料反映,该层系属中生代陆相-海陆交互沉积,可能还包括时代更老的古生代地层<sup>[4]</sup>。

### 3.2 断裂构造

断面西部越东岸外,发育近南北向断裂,系越东断裂的北延,向北可能延伸到莺歌海与琼东南盆地之间的南北向隆起带附近,可能截断了呈北西向的红河断裂,二者均为大型的走滑断裂,近代仍有活

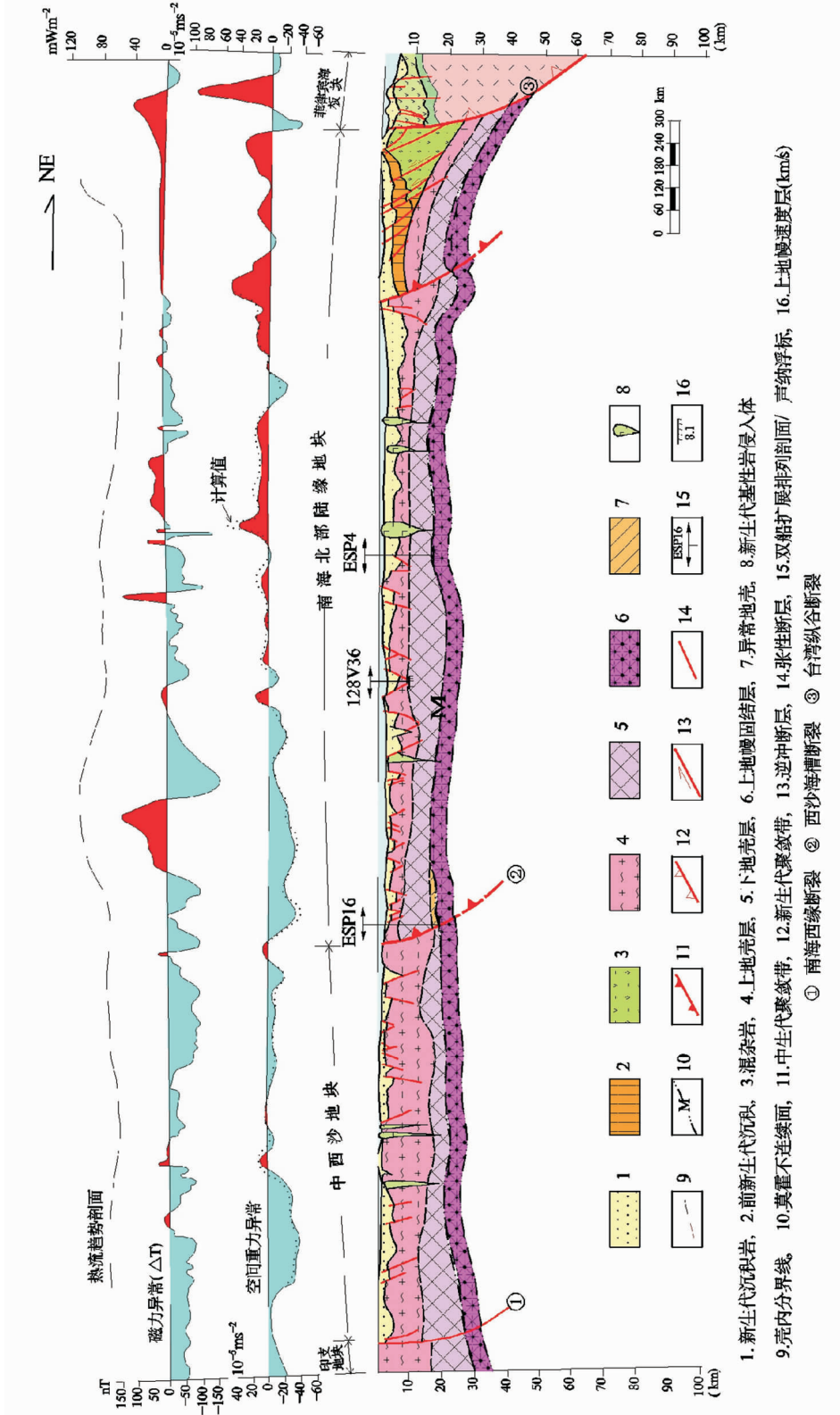


图 2 南海北部陆缘西沙海槽—台湾恒春半岛地质断面  
 Fig.2 Geotranssect from Xisha Trough in the northern margin of the South China Sea to Hengchun Peninsular in south Taiwan

动,控制了莺歌海盆地内新生代沉积的发育。西沙隆起区发育北东、北东东向断裂,新生代期间岩浆沿断裂喷溢,形成众多的海山与海丘。西沙海槽东端以东西向断裂为主,往西进入琼东南盆地宝岛凹陷。

从西沙海槽到东沙隆起南的陆坡区水深变化大,断裂十分发育,断面大多向南倾向海盆,呈近东西向展布,其形成显然与中央海盆的扩张有密切关系。大断裂下部一般都伴有海丘或海山,系岩浆沿断裂上涌形成。

东沙隆起西南和台湾浅滩西南发育一组北西向断裂,将北东向断裂左行错断,且未见其对沉积的控制,显示其形成时代较晚。

台湾岛西南是构造变形十分复杂的地区,张裂的欧亚大陆向东俯冲到菲律宾海板块之下,在马尼拉海沟北段出现了从正断层、隐伏逆断层褶皱到逆冲断层的复杂构造样式<sup>[15]</sup>,断裂方向以北西和北北西向为主。

台湾岛及其东侧发育北北东向断裂,与台湾地势走向一致,位于中央山脉与海岸山脉之间的纵谷断裂是菲律宾岛弧与欧亚大陆碰撞的缝合带,纵谷缝合线在纵谷南端大武附近转向南,在恒春半岛东海岸之外与 120°E 线大体重合。

下面将断面切过的南海西缘断裂、西沙海槽断裂、马尼拉海沟断裂和台东纵谷带作简要描述。

### 3.2.1 南海西缘断裂

南海西缘断裂位于越南东部海岸陆架与陆坡转折处,主体位于越南东部海岸 109°30'~110°E。断裂带由一系列大致呈 SN 向的断裂组成,地形地貌、重磁异常、地震剖面上均有反映。该断裂带形成于新生代南海扩张期间,作为南海西缘的一条转换调节带,为一条右行走滑剪切带<sup>[15-18]</sup>。据对琼东南盆地、中建南盆地和万安盆地的构造分析表明,南海西缘断裂带的右旋运动始于晚渐新世,很可能更早,结束于早中新世(约 20 Ma)<sup>[18-19]</sup>。中中新世末南海地区普遍发生构造反转,南海西缘断裂带有过短暂的左行走滑活动,于中新世末期又恢复了右行走滑特征<sup>[19]</sup>。因此,这是一条新生代期间发生多期走滑活动的构造剪切带,控制了南海西缘沉积盆地的发育。

### 3.2.2 西沙海槽断裂

西沙海槽在磁力上表现为条带状高值正磁异常带,空间重力异常表现出低值负异常带;地壳速度结构反映海槽内地壳较其两侧薄,下地壳下部存在异

常高速层。海槽内地热流值较高,平均为 78 mW/m<sup>2</sup>;反映这里是新生代的构造活跃区。

### 3.2.2 马尼拉海沟断裂

马尼拉海沟形成于中央海盆洋壳向吕宋岛弧下的俯冲。海沟总体呈近 SN 走向,基本上沿 4000 m 水深线延伸,是南海东部一条显著的重力异常梯级带。断裂往北可能经台湾西南的屏东谷地进入西部麓山区,其性质由俯冲带变为逆冲带。

### 3.2.4 台东纵谷断裂

走向 SN 向的台东纵谷断裂(也称花莲—台东断裂)是台湾重要的构造分界线,对应菲律宾海板块与欧亚板块之间的界限。断裂东、西两侧地质构造特征存在明显差异,西侧出露台湾最老的地层—上古生界大南澳群,这是一套构造混杂岩,被脊梁山脉和恒春山脉的古近系和新近系沉积所覆盖。东侧海岸山脉代表增生到欧亚大陆边缘的吕宋弧,最老地层为中新统,由安山熔岩、安山质集块岩、火山碎屑岩、泥质岩与复理石建造,含利吉层构造混杂岩。

## 3.3 地壳结构特征

南海北部陆缘的地壳厚度具有从陆区向海区减薄,从陆架浅水区向陆坡深水区减薄的特点,莫霍面深度则逐渐抬升变浅,在洋盆区达到最浅。

### 3.3.1 华南—印支陆区

断面北部的华南大陆地壳厚度为 28~30 km,断面西端的印支半岛地壳厚约 30 km,上地壳厚度略大于下地壳,为典型的陆壳。

### 3.3.2 洋陆转换带

断面经过的南海北部海区,紧邻南海洋盆,属洋陆转换带,新生代期间在区域性伸展应力场下发生张裂。受地壳先存结构影响,地壳的伸展减薄无论在横向上还是纵向上表现为不均匀伸展的特点,显示出强烈的非均一性。琼东南盆地、珠江口盆地陆架区地壳厚度普遍为 26~15 km,伸展变形主要发生在上地壳内,下地壳变化不大,使得上地壳厚度普遍小于下地壳,表现为脆性变形特征,形成南海北部陆缘盆地中众多的半地堑。陆坡区地壳发生了强烈的减薄,至海盆边缘地壳厚度仅为 8~10 km,变形不仅发生在上地壳内,下地壳也产生了强烈的伸展。自西沙海槽往东,沿南海海盆北缘的珠江口盆地珠二坳陷、台西南盆地南部坳陷,形成一条近东西向的地壳减薄带。该带下地壳底部发育了厚薄不等的高速层,速度值为 7.0~7.5 km/s,双船地震和 OBS 揭示西沙海槽

处的高速层较薄,仅数千米,东沙隆起南侧高速层厚度最大可达 13 km<sup>[3]</sup>,向海盆方向厚度逐渐减薄以至尖灭<sup>[2]</sup>。

值得一提的是,东沙群岛的地壳厚度达到 32 km,且在数千米内陡然降低到 25 km 左右,引起该处地壳厚度突变的原因可能与下伏异常高速层的形成有密切关系。

西沙海槽南侧的中西沙群岛地壳厚度约为 26 km,上、下地壳厚度差别较大,上地壳远大于下地壳,减薄作用主要由下地壳的韧性伸展产生,这一特征截然不同于西沙海槽北侧的南海北部陆缘区。

### 3.3.3 台湾西南高坪斜坡增生楔

台湾西南与东南海域近年来作了两条 OBS 地震测线(Line 29 和 Line 33)(图 1)<sup>[9-10]</sup>,其结果表明台湾恒春半岛东西两侧具有完全不同的地壳结构(图 2)。恒春半岛西侧速度为 1.6~3.6 km/s 的沉积层覆盖在速度为 3.8~4.2 km/s 的增生楔之上,沉积层厚度往增生楔方向减薄。整条测线反映,沉积层之下的上地壳速度为 6.0~6.4 km/s,从台西南盆地到高坪斜坡和恒春半岛,其厚度大约保持在相对稳定的 4 km 左右,已发生了强烈的伸展减薄,在增生楔之下呈现为向东下插之势。下地壳也发生了减薄,厚度也相对稳定,与上地壳一起向东俯冲到整个恒春半岛之下,俯冲板片的倾角从 2°向东变为恒春半岛之下的 8°。地震震中以及震源机制解表明,向东倾的俯冲作用至今仍然十分活跃。

### 3.3.4 吕宋弧与菲律宾海板块

恒春半岛东侧 6 个 OBS 揭示的地壳结构显示,地壳由东向西增厚,吕宋岛弧区莫霍面深度约 17 km,下地壳速度约为 6.5 km/s,残留的北吕宋海槽地壳厚度比吕宋弧薄 5 km,速度在 4~6.6 km/s,上地幔隆起约 3 km, Moho 面速度在 7.7~7.8 km/s。海槽之西的花东脊地壳厚度有显著变化,地形抬升,海底变浅, Moho 面埋深增至 17 km,地壳底部速度达 6.85 km/s。据钻井资料,花东脊是由强风化沉积岩与晚上新世含放射虫的深水粘土矿物组成的混杂岩<sup>[4]</sup>,是南海洋壳向东俯冲于菲律宾海板块时形成的俯冲带杂岩。断面最东端的菲律宾海地壳厚度为 6 km,为典型的洋壳。

因此,南海北部断面地壳厚度总体表现为西部的印支半岛和东部的台湾岛以及其间的东沙群岛地壳厚度较大,而其余地区地壳发生了强烈的伸展较薄,整个南海北部陆坡地壳呈向海方向减薄趋势,但

不同区段减薄程度不同,因伸展造成的现象不同,下地壳底部的异常高速层在南海北部陆缘从西向东,向海盆方向呈减薄趋势,直至尖灭。这反映了南海北部陆坡地区地壳结构不论在走向上还是倾向上都显示明显的变化,具有强烈的不均一性。

## 4 区域构造演化

印支半岛东缘—西沙海槽—南海北部陆坡—台湾恒春半岛—菲律宾海地质断面经过了印支地块、中西沙地块、南海北缘地块和菲律宾海板块。各构造单元时空演化图(图 3)反映了该地区元古宙以来的构造演化过程。

印支地块、中西沙地块和南海北缘地块均具有元古代的古老结晶基底,曾经属于冈瓦纳大陆的组成部分。印支地块以昆嵩隆起为核心,基底变质岩系的 U-Pb 等时线年龄为 2300 Ma<sup>[21]</sup>。早古生代地层分布在昆嵩隆起南北两侧,发育一套海相碎屑岩与碳酸盐沉积,不整合于下伏基底之上。志留纪末的加里东运动使这套地层发生浅变质,在越南北部,这套变质地层被下泥盆统老红砂岩不整合覆盖。这次构造运动可能标志着印支和华南地块从冈瓦纳大陆开始裂离,随后向北漂移。

泥盆纪时,冈瓦纳大陆发生张裂,印支、中西沙和南海北缘地块从冈瓦纳大陆裂离。印支地块北面与华南地块之间隔着古特提斯洋(北支)。早石炭世末,印支与华南发生拼贴<sup>[22-23]</sup>,其间的特提斯洋主体闭合,但仍残留一些海湾。这次构造运动称之为华力西运动,造成中石炭统不整合覆盖在下石炭统和泥盆系之上,伴随强烈的岩浆活动,在越南北部沿马江断裂形成以强烈变形和逆冲推覆为特征的华力西褶皱带。

晚三叠世,印支地块与华南地块之间沿黑水河—红河断裂带缝合,其间残留的古特提斯洋全面闭合,代表印支运动的发生。据同位素年龄推测,两大陆壳块体碰撞发生在 280±5~260±5 Ma,这次造山运动伴随着强烈的构造变形、变质作用和岩浆侵入、挤出作用。

西沙海域的西永—井揭示中西沙地块的基底为一套花岗片麻岩、石英云母片麻岩、片麻状花岗岩,与昆嵩隆起相似,Rb-Sr 法测得等时线年龄为 1465 Ma,变质年龄为 627 Ma。基底之上被 1000 多米厚的中新统海相地层覆盖。在西沙隆起周缘,磁性层埋

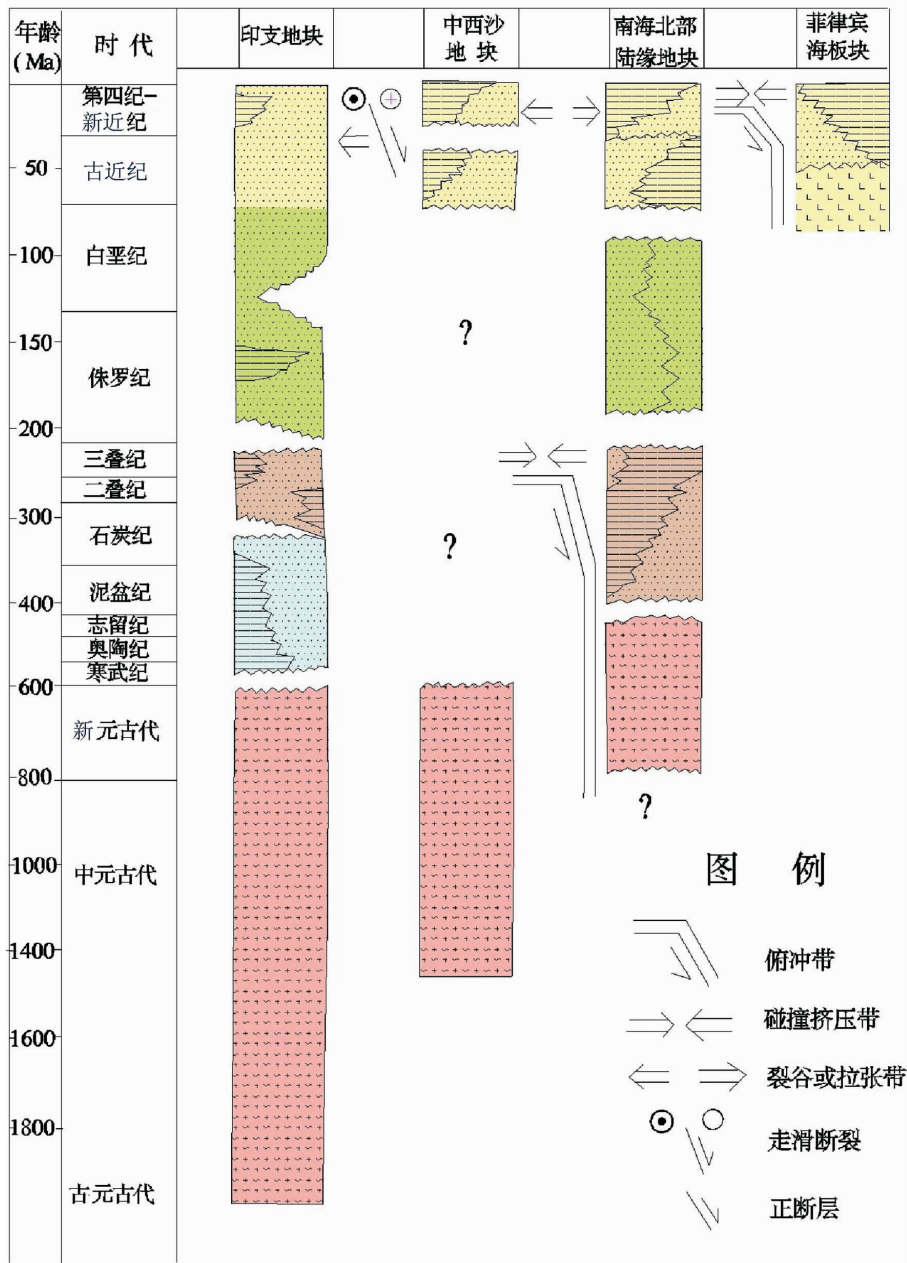


图 3 南海北部陆缘时空演化图

Fig.3 Time-space tectonic evolution in the northern margin of the South China Sea

藏深度计算结果表明, 新生界之下还发育数千米的非磁性层, 可能为中—古生代地层。推测中西沙地块与昆嵩隆起相似, 长期处于隆起剥蚀状态。古近—新近纪期间, 由于南海扩张, 中西沙地块相对于印支地块以南海西缘断裂带为边界发生右行滑动。

南海北部陆缘地块是华南大陆在海区的延伸, 珠江口盆地西部钻井揭示存在下古生界浅变质岩,

是加里东运动产生的区域性变质作用的反映。燕山期, 古太平洋板块向欧亚大陆俯冲, 在东亚和东南亚陆缘形成了一条规模宏大的 NNE-NE 向侏罗—白垩纪岩浆岩带、断裂带、褶皱带和变质带等构造系统。南海北部陆缘地块、中西沙地块和印支地块东南边缘均受到岩浆作用的改造, 海区大量钻井揭示了晚侏罗—早白垩世花岗岩、花岗闪长岩的存在。

晚白垩世—早始新世,随着古太平洋板块由北西西向变为向北运动,以及运动速率的骤然降低,对东亚大陆的挤压缓解,产生应力场松弛,引起东亚大陆边缘发生广泛的地壳裂解。在福建东南沿海,这一时期的伸展活动表现为大量的 A 型花岗岩和双峰式火山岩的侵入和喷发,南海以及台湾海峡发生广泛的断陷裂谷作用,形成一系列北东—北东东向展布的裂陷槽,以台湾浅滩—东沙—中西沙构成的北东向隆起带为界,其北侧的断陷中充填了古新世—始新世陆相碎屑岩,而以东的台西南、礼乐滩等地则处在古南海边缘,发育了浅海—半深海相碎屑沉积,并由此奠定了南海及其周缘盆地的雏形。

晚始新世—早中新世,南海开始海底扩张,扩张至少有两期,第一期扩张发生在西南海盆,磁条带对比获得的扩张时代为中晚始新世—早渐新世(18~13 Ma)<sup>[7]</sup>;第二期扩张发生在晚渐新世—早中新世(11~5 Ma)<sup>[24]</sup>,形成南海的中央海盆。

晚中新世—早上新世期间,中央海盆洋壳沿马尼拉海沟开始向东俯冲到吕宋弧(菲律宾海板块)之下<sup>[25-26]</sup>。与此同时,菲律宾海板块继续以北西向相对欧亚板块运移,其北部洋壳沿琉球海沟俯冲到欧亚大陆下面。中新世末(5~6 MaB.P),菲律宾海板块与欧亚板块在台湾东北部发生弧陆碰撞,碰撞由北往南不断推进。在台湾南部,马尼拉海沟的俯冲形成恒春加积增生楔,增生楔之下张裂的欧亚大陆边缘也开始向菲律宾海板块之下俯冲,形成复杂的地壳结构。

## 参考文献(References):

- [1] 何廉声,姚伯初.南海北部大陆边缘上的声纳浮标测量(二)—陆缘地壳结构构造[J].海洋地质与第四纪地质,1983,3(4):57-68.  
He Liansheng, Yao Bochu. Sonobuoy measurements on the margin of the northern South China Sea [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1983, 3 (4):57-68 (in Chinese with English abstract).
- [2] 李振五.南海中部和北部地壳性质的探讨[J].地球物理学报,1984,27(2):153-166.  
Li Zhenwu. Discussion on the crust nature in the middle and north of South China Sea [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1984, 27(2):153-166(in Chinese with English abstract).
- [3] Susan Spangler Nissen, Dennis E Hayes, et al. Deep penetration seismic soundings across the northern margin of the South China sea [J]. JGR, 1995, 100(B11):22407-22433.
- [4] Susan Spangler Nissen, Dennis E. Hayes et al. Gravity, heat flow, and seismic constraints on the processes of crustal extension: Northern margin of the South China Sea [J]. JGR, 1995, 100(B11):22447-22483.
- [5] Dennis E Hayes, Susan Spangler Nissen, et al. Throughgoing crustal faults along the northern margin of the South China Sea and their role in the crustal extension[J]. JGR, 1995, 100,(B11):22435-22446.
- [6] 姚伯初.南海北部陆缘的地壳结构及构造意义 [J].海洋地质与第四纪地质,1998,18(2):1-16.  
Yao Bochu. Crust structure of the northern margin of the South China Sea and its tectonic significance [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1998, 18 (2):1-16 (in Chinese with English abstract).
- [7] 姚伯初,曾维军, Hayes D E, et al. 中美联合调研南海地质专报[M].武汉:中国地质大学出版社,1994.  
Yao Bochu, Zeng Weijun, Hayes D E, et al. The Geological Memoir of South China Sea Surved Jointly by China and USA[M]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1994 (in Chinese).
- [8] 姚伯初,王玲,曾维军,等.南中国海岩石圈三维结构及演化[M].北京:地质出版社,2006.  
Yao Bochu, Wan Ling, Zeng Weijun, et al. 3-D lithosphere structures and evolution of the South China Sea [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006 (in Chinese).
- [9] Yosio Nakamura, Kirk McIntosh, Allen T. Chen. Preliminary results of a large offset seismic survey West of Hengchun Peninsula Southern Taiwan[J]. TAO, 1998, 9(3):395-408.
- [10] Allen T. Chen, Yosio Nakamura. Velocity structure beneath the eastern offshore region of southern Taiwan based on OBS data[J]. TAO., 9(3):409-424.
- [11] Qiu X, et al. Crustal structure across the Xisha Trough, northwestern South China Sea [J]. Tectonophysics, 2001, 341:179.
- [12] Yan P, Zhou D, Liu Z. A crustal structure profile across the northern continental margin of the South China Sea [J]. Tectonophysics, 2001, 338:1-21.
- [13] 庞雄,陈长民,邵磊,等.白云运动:南海北部渐新统/中新统重大地质事件及意义[J].地质评论,2007,53(2):145-152.  
Pang Xiong, Chen Changmin, Shao Lei, et al. Baiyun movement, a great tectonic event on the Oligocene-Miocene boundary in the northern South China Sea and its implications [J]. Geological Review, 2007, 53(2):145-151(in Chinese with English abstract).
- [14] 俞何兴,周颖蔚.台湾北部及西部陆架之地貌与地质特征[J].中国科学(D辑),2001,31(6):486-495.  
Yu Hexing, Zhou Yingwei. Morphology and geological characteristics in northern and western Taiwan shelf [J]. Science in China (Series D), 2001, 31(6):486-495(in Chinese).
- [15] Ku Chiayen, Hsu Shukun. Crustal structure and deformation at the northern Manila Trench between Taiwan and Luzon islands [J]. Tectonophysics, 2008, doi:10.1016/j.tecto.
- [16] Holloway N H. North Palawan block, Philippines — its relation to Asian mainland and role in evolution of South China Sea [J]. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull. 1982, 66, 1355-1383.
- [17] Hayes D E, Nissen S S, Buhl P. Throughgoing crustal faults along the northern margin of South China Sea and their role in crustal



- extension [J]. *JGR*, 1995, 100(b11):22435–22446.
- [18] Matthews S J, Fraser A J, Lowe S, et al. Structure, stratigraphy and petroleum geology of the SE Nam Con Son Basin, offshore Vietnam [C]// Fraser A J, Matthews S J, Murphy R W (eds.). *Petroleum Geology of Southeast Asia*, Geological Society Special Publication 1997, No.126:89–106.
- [19] Roques D, Mathews S J, Rangin C. Constraints on strike-slip motion seismic and gravity data along the Vietnam margin offshore Da Nang: implication for hydrocarbon prospectivity and opening of the East Vietnam Sea [C]//Fraser A J, Mathews S J, Murphy R W. *Petroleum Geology of Southeast Asia*, Geological Society Special Publication 1997, No.126:341–353.
- [20] Huang Chiyue, Xia Kanyuan, Yuan Peter B, et al. Structural evolution from Paleogene extension to Latest Miocene–Recent arc–continent collision offshore Taiwan: comparison with on land geology [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2001, 19:619–639.
- [21] Gatinsky Y G. Geodynamics of Southeast Asia in relation to the evolution of ocean basins [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 1986, 55:127–144.
- [22] Ian Metcalfe. Paleozoic and Mesozoic geological evolution of the SE Asian region: multidisciplinary constraints and implications for biogeography [C]//Robert Hall, Jeremy D. Holloway, Biogeography and Geological Evolution of SE Asia, 1998:25–41.
- [23] Ian Metcalfe. Paleozoic and Mesozoic geological evolution of the SE Asian region: multidisciplinary constraints and implications for biogeography [C]//Robert Hall, Jermy D. Hollloway (eds.). *Biogeography and Geological Evolution of SE Asia*, 2002: 25–41.
- [24] Taylor & Hayes. Origin and history of the South China Sea Basin [C]//Hayes D E (ed.). *The tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands Part 2*, Geophysical Monograph 27, 1983:23–56.
- [25] Suppe J. Mechanics of mountain building and metamorphism in Taiwan [J]. *Geol. Soc. China, Mem.*, 1981, 4: 67–89.
- [26] Lin P, Watts A B. Origin of the West Taiwan basin by orogenic loading and flexure of a rifted continental margin [J]. *Jour. Geophys. Res.*, 2002,107, ETG2–1–2–19.

## Geotranssect from Xisha Trough in the northern continental slope of the South China Sea to Hengchun Peninsular in Taiwan

WAN Ling<sup>1,2</sup>, ZENG Wei-jun<sup>2</sup>, WU Neng-you<sup>3</sup>,  
YAO Bo-chu<sup>2</sup>, ZHU Ben-duo<sup>1</sup>, Chen Hong-jun<sup>1</sup>

(1. *Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, Guangdong, China*;

2. *Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China*; 3. *Guangzhou Center of Gas Hydrate Research, CAS, Guangzhou 510640, Guangdong, China*)

**Abstract:** Available geological and geophysical data obtained around the northern continental margin of the South China Sea were used to compile the synthetic geotranssect from the eastern margin of Indo–China Peninsular, through Xisha Trough, the northern continental slope of the South China Sea and Hengchung Peninsular in Taiwan to the Philippine Sea. This geotranssect is about 1800 km in length. The topography and morphology, geophysics, structural geology and time–space evolution reveal the configuration of the ocean–continent boundary and the interaction in the northern continental margin of the South China Sea, which is significant for understanding the tectonic framework and deep water petroleum geology in the northern margin of the South China Sea.

**Key words:** northern margin of the South China Sea; geotranssect; lithosphere structure

**About the first author:** WAN Ling, female, born in 1969, doctor, engages mainly in regional geology, deep structure and basin dynamics in the South China Sea; E-mail: wanling@163.com.