

# 东沙群岛海区晚新生代构造特征 及其对弧-陆碰撞的响应\*

吴时国 刘展<sup>†</sup> 王万银<sup>††</sup> 郭军华<sup>†††</sup> Lüdmann T<sup>††††</sup> Wong H K<sup>††††</sup>

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

<sup>†</sup>(石油大学 东营 257000)

<sup>††</sup>(长安大学地质与测绘工程学院 西安 710046)

<sup>†††</sup>(中国科学院海洋研究所 青岛 266071; 中国科学院研究生院 北京 100039)

<sup>††††</sup>(德国汉堡大学生物地球化学研究所 汉堡 D-20146)

**提要** 东沙群岛及其邻近海区(简称东沙海区)位于南海北部大陆边缘,东邻马尼拉俯冲构造带。为了讨论晚新生代以来东沙海区的构造变形特征,从中找出吕宋弧对中国东南大陆边缘碰撞的构造相关,特别是8Ma以来的吕宋岛弧和中国大陆边缘之间构造消减过程的响应。根据地震地层学分析,结合区域重磁资料、ODP184钻孔资料对东沙群岛海区晚新生代构造特征进行了分析。东沙海区自南海扩张后发育了3个沉积层序(层序V, VI, VII),经历了较强烈的构造抬升作用、岩浆活动、沉积物剥蚀。该区发育NEE-SWW和NW-SE向两组断裂,且以NEE-SWW向断裂最为发育。断裂大多具有多次活动,且为上新世到第四纪的活动断裂构造,断块抬升幅度大,沿断裂带发生岩浆侵入。分析结果表明,晚新生代期间经历了二次重要的构造运动,即东沙运动(9.8—4.4Ma)和流花运动(1.89—1.4Ma),奠定了该区的构造格局。综合该区东强西弱构造变形、构造抬升发生的时间和应力场变化等特征看,该区受8Ma以来中国东部大陆边缘与吕宋岛弧碰撞所产生的构造运动的影响,在8Ma以前,由于台湾岛不存在,活动的古东海大陆边缘延伸至东沙群岛海区东北部。

**关键词** 晚新生代构造运动,地震地层学,弧-陆碰撞,南海

**中图分类号** P736

台湾造山带的地质研究(Teng, 1990; Shemenda, 1994)表明,古吕宋弧向西北方向推进,上新世初大约在现今台湾岛东北部,与中国大陆边缘发生斜向碰撞或剪切闭合,最终形成了现今台湾岛近南北向的构造面貌(见封面插图)。岩浆活动为这一碰撞作用提供了可靠的时间序列信息(Liu *et al.*, 1997),这一碰撞作用首先发生在现今台湾东北部及其邻近海域,然后逐渐向南迁移。台湾东部和南部21°—23°N之间的海底,可能是古吕宋弧在弧陆碰撞后的残余部分;21°N以南海底是正在发生典型俯冲作用的菲律宾海沟与马尼拉海沟;大约在21°N/120°E附近,马尼拉海沟转换为

近南北方向的左旋断层插入台湾岛的中西部(Murphy, 1973; Bowin *et al.*, 1982),其东侧是台湾-吕宋弧,西侧就是东沙海区。该断层应该是东沙海区与吕宋弧之间的边界。

近30年来,刘光鼎(1992)、地质矿产部广州海洋地质调查局(金庆焕,1989)和中国科学院南海海洋研究所(1985)都对该区的构造、基底和沉积等方面进行了综合调查,确立了东沙海区是由呈NE-SW方向延伸的构造隆升带和陆架拗陷带(珠江口拗陷的东延)组成,东北面与台湾西南盆地相邻。中国海洋石油公司在该区为寻找油气开展了广泛的反射地震和钻井工作,证实东沙海区

\* 中国科学院知识创新重要方向性项目, KZCX3-SW-219号; 国家“973”重点基础研究资助项目, 2000064704号; 中国科学院院长基金项目, 20010302号。吴时国, 研究员, E-mail: swu@ms.qdio.ac.cn

收稿日期: 2003-03-11, 收修改稿日期: 2004-06-15

具有重大的油气勘探价值(Ru *et al*, 1986; Gong *et al*, 1989; 陈斯忠等, 1992; Tyrrell *et al*, 1992; Lüdmann *et al*, 2001), 并揭示东沙隆起的西部地区有古生代的变质岩基底, 并存在中生代与上新世以来的岩浆作用(Gong *et al*, 1989), 认为东部隆起是海西期被动大陆边缘(Lüdmann *et al*, 2001)。台西南盆地内存在明显的重力高和强烈的磁力异常, 特别是沿走向展布的串珠状磁异常可能表示为东海新生代活动边缘的延伸(Sibuet *et al*, 1997)。

上述工作为认识本海区的地质特征提供了大量重要资料, 奠定了进一步工作的基础。但以上工作大部分是以油气资源及与其有关的地质基础为目的, 而且多把它们和南海中央海盆扩张相联系在一起。吕宋弧对中国东南大陆边缘的碰撞是从上新世初开始延续到近代, 首先发生在台湾的

东北, 并逐渐向南迁移。但是, 它是如何发生和影响中国东南大陆边缘发展的呢? 对中国东南大陆边缘到底又有哪些影响? 本文中主要根据“太阳号”的地震资料, 结合海区卫星重力和化极磁力数据等资料, 讨论晚新生代以来东沙海区的构造变形特征, 从中找出吕宋弧对中国东南大陆边缘陆撞的构造相关, 特别是 8Ma 以来的吕宋岛弧和中国大陆边缘之间构造消减过程的响应。

## 1 晚新生代地震层序

1988—1994 年的中国-德国合作使用的“太阳号”考察船在东沙海区进行过 3 个航次的调查, 获得了约 6600km 的反射地震资料(Lüdmann *et al*, 2001), 其研究区范围及地震测线位置如图 1 所示。该区声学基底及晚新生代地震层序的划分可描述如下。

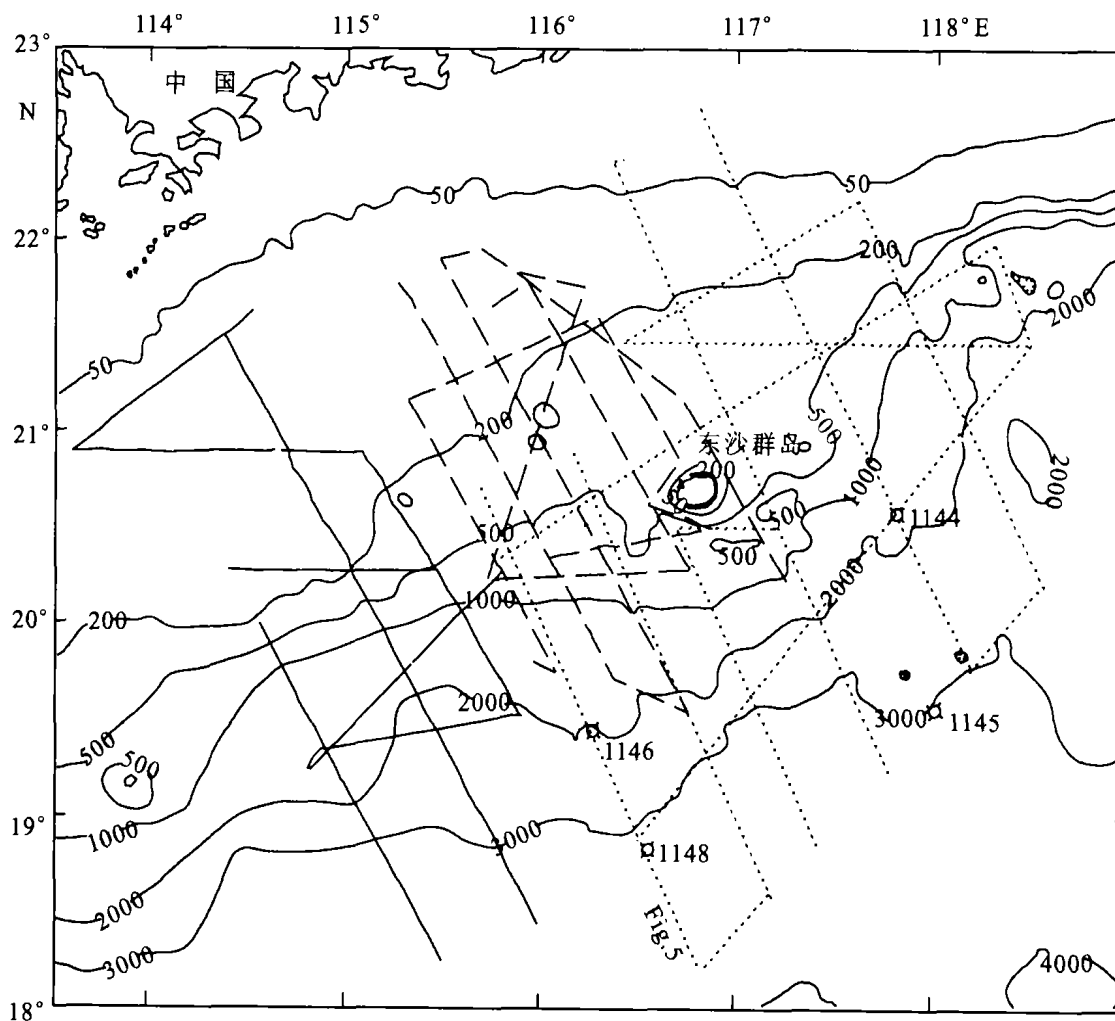


图 1 “太阳号”50B(实线)、72A(长虚线)和 95(短虚线)航次地震测线位置。图中方格圆圈指示 ODP 184 钻井位置

Fig. 1 Location of the seismic profiles obtained with the R/V SO-50B(real lines), SO-72A(long dashed line) and SO-95(short dashed line). Box circles indicate ODP 184 sites

## 1.1 声学基底

在研究区内主要出现两类基底:一种类型是不同时代的基性、超基性岩。在 seismic 剖面上表现为丘状反射结构、高频、穿透率差。这类基底伴随高磁异常(200—400nT),断续分布在盆地东部。这些基性、超基性岩很有可能类似于安第斯型海岸山脉的岩浆岩,形成于燕山运动的早、中期,通常这类岩石都分布在陆壳和洋壳的过渡带。

另一种类型可能是古生代和中生代的变质岩,它在声学特征上表现为连续的、丘状内部反射结构。根据广东沿海的地层露头资料及台西南盆地 CFC-1 钻孔资料,该基底可能是印支—燕山期造山带,并遭受后来的岩浆侵入。这一类型的基底在东沙海区广泛出现,呈 NW 及 NE 向脊状延伸,表现为基底强烈隆升,分隔珠江口盆地和中央海盆(Gong *et al.*, 1989)。

## 1.2 盖层地层层序划分

在东沙海区,作者把新生代地层划分为 7 个地震层序。由于早第三系地层在各地发育不一样,特别是一些断陷盆地地层很难对比,所以没有进一步划分。为了统一起见,新生代地层层序和不整合面基本沿用 Gong 等(1989)的划分方案,简要叙述如下。

层序 I—III 是南海扩张前沉积层序,具亚平行结构、不连续和中到强振幅,直接覆盖在声学基底之上,它是典型的断陷盆地沉积。钻井证实这些岩相多为陆相砂岩、粉砂岩和泥岩。层序 I、II 和 III 分别代表神弧组、万山组和恩平组。

层序 IV 出现在东沙隆起的陆架边缘碳酸岩台地相碳酸岩相组成(Gong *et al.*, 1989; Tyrrell *et al.*, 1992; 李平鲁, 1993),钻井揭示层序底部为丘状和双曲线(hyperbolic)反射,强振幅,为河流相到滨海沉积,相当于珠海组。上部为灰褐色的泥灰岩,并在上部覆盖了一套厚砂岩,为珠江组灰色块状砂岩(Murphy, 1973)。该层序地震相特征表现为平行结构、连续和强振幅。区域性不整合( $T_4$ )(Gong *et al.*, 1989; Tyrrell *et al.*, 1992; 李平鲁, 1993)为层序 IV 和层序 V 的界限。

层序 V 和 VI 以十分连续、强振幅的平行反射为特征,为中、上新统三角洲相泥灰岩和粉砂岩,包括粤海组和韩江组。该层序地震相外型从平行披盖变化为斜交型前积结构,顶部不整合面( $T_1$ )在这里作为中新世和上新世之间的界限。

层序 VII 具有平行结构、连续和中到强振幅。在研究区东部,层序下超并终结于层序 VI,在上陆坡区,层序缺失,更新世地层直接覆盖在层序 IV 之上;向西,该层序从陆架到陆坡分布稳定(Lüdmann *et al.*, 2001)。在 SO72A 航次剖面切过的万山背斜,层序 VII 最小厚度仅为 95m,其内部反射结构为斜交平行和 S 型。钻井证实这些岩相为陆架边缘进积上新世海相灰岩,层序内部反射面( $T_0$ )是上新世之间的不整合面。

## 2 构造变形特征

### 2.1 NEE 断裂系统

从地震剖面上可以识别 NEE 和 NW 向两组重要的断裂系统,其中 NEE 向断裂十分发育,它们是控制着东沙隆起区的形成和隆起与凹陷的分界,并且具有继承性,至今仍十分活跃(图 2)。NEE 向正断层与 NW 向断裂相互交切,垂直断距通常达到 1000—1500m,最大可达 3000m。分隔珠—凹陷与东沙隆起的深断裂带,平面延伸约 200km,断面向 NW 倾斜。在珠—凹陷接受 1000—4000m 的沉积物质,在东沙隆起上仅有薄的晚新生代沉积物质。

东沙隆起的南缘发育伸展构造,整体逐渐下降至南海中央海盆,说明 NEE 断裂也是东沙隆起和南海中央海盆北部陆坡的分界,东沙隆起是南海北部陆架边缘隆起带。

图 3 指示珠江口凹陷和东沙隆起的重力异常呈 NNE-SSW 向延伸,通过台湾海峡与东海重力异常连接。台西南盆地的重磁力异常由 NEE 向转为 SSE 向,进而变为负异常区(图 4),其特征与西菲律宾海盆重磁异常特征接近,而与南中国海的磁条带却大不相同。

珠江口盆地和台西南盆地,具有不同的地壳结构和重力、磁力异常特征(图 3 和图 4)。珠江口盆地是在始新世—早渐新世拉张而形成,具有较低的布格重力异常;台西南盆地则具有较明显的高布格重力异常值。两者之间布格重力异常的巨大差异反映了二者深部物质组成的根本差异,也说明它们之间存在一条物质转换的构造界限,可能就是前面提到的马尼拉海沟的北延部分。东沙隆起剩余串珠状磁力异常(图 4)向东北延伸,在台湾的西南被截断,而又在台湾的东北出现类似的剩余磁力异常特征,向西南则消失。这样的剩余磁力异常表明:1)东沙隆起的东北部和西北

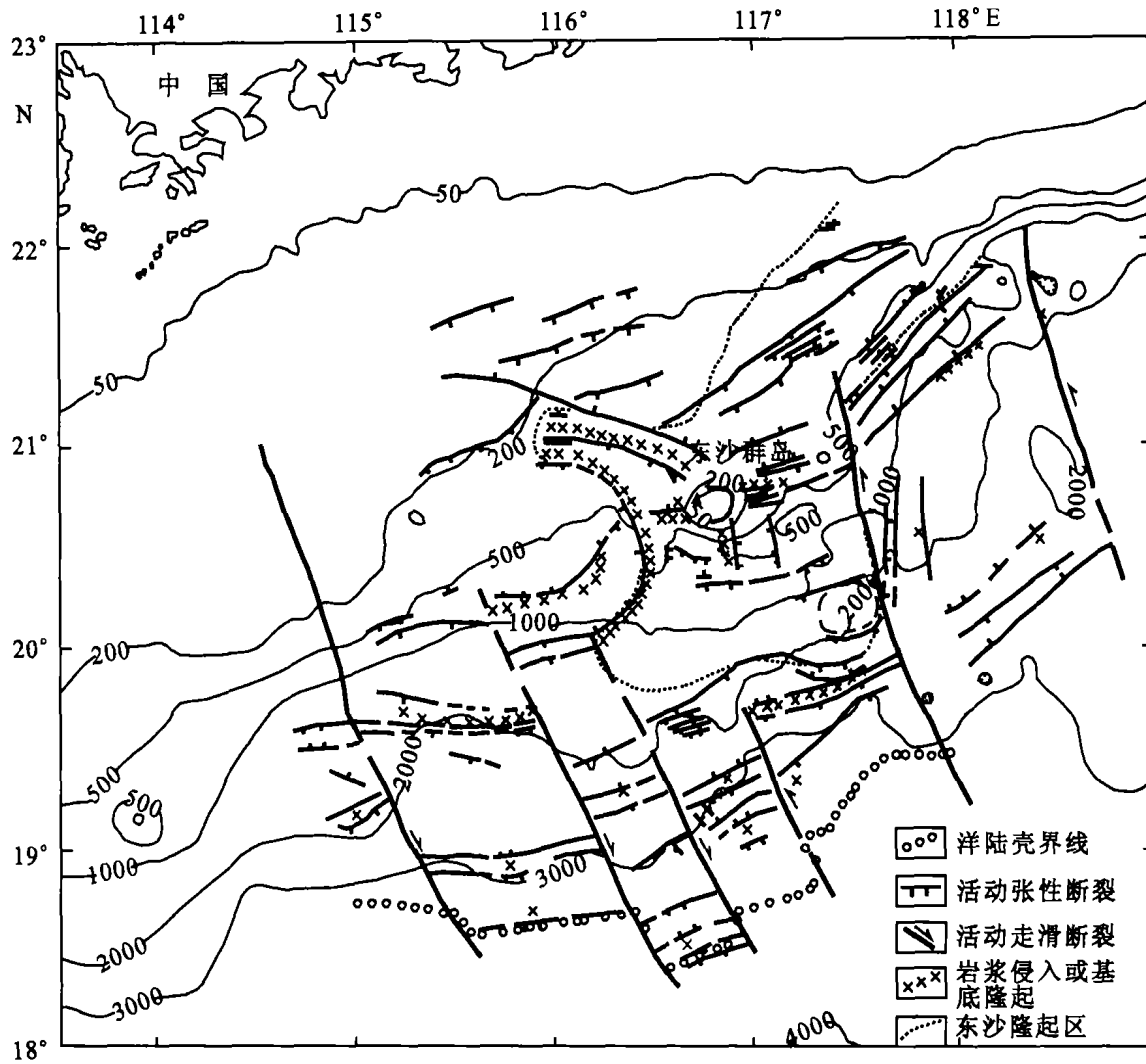


图2 东沙海区断裂构造分布

Fig.2 Distribution of faults systems in Dongsha Islands and adjacent sea area

部的基底不同,东部为中生代火山岩基底,西部为古生代的变质岩基底;2)可能暗示东沙隆起与台湾的东北(东海的琉球岛弧)曾经有某些构造上的联系。

大约在上新世(13Ma)前,西菲律宾海盆与南海之间存在一条转换断层,后来菲律宾海板块和古吕宋弧沿其向西北推进,发生弧-陆碰撞和俯冲,中断了东沙隆起与东海的琉球岛弧的连接,台西南盆地和台湾南部海底有可能是西菲律宾板块及古吕宋弧的残余。

### 2.2 NW-SE 向断裂

东沙海区广泛出现 NWW-SEE 向断裂,(图2),它们主要形成于燕山和喜马拉雅山期,控制基底的展布差异抬升。在东沙隆起区的多道数字地震剖面上可见地层具有较陡的倾角,及与断裂构造相伴生的短轴背斜、同沉积背斜和底劈构造。

在中新世以前,同中国东部大陆边缘的 NW-SE 向断裂一样,具有早期左旋剪切断裂的性质和演化特征。在中新世以后,NW-SE 向断裂活动性质有明显差异,在东沙隆起以西表现为右旋剪切断裂,这与红河大断裂的右旋活动相关。在东沙隆起区以东大都具有左旋性质,这应该是与吕宋弧的 NW 向碰撞作用产生的左旋应力场有关 (Shemenda, 1994; Murphy, 1973)。

### 3 晚新生代构造运动及其与陆弧碰撞的关系

东沙隆起区在早第三纪是一古构造隆起 (Gong et al, 1989; Tyrrell et al, 1992; 李平鲁, 1993; 李平鲁等, 1994)。在晚第三纪至第四纪,珠江口盆地发生沉降,南海北部普遍遭受海侵,并开始接受沉积,使得珠一凹陷和珠二凹陷连为一体,形成一个大型盆地。

晚新生代构造活动在盆地内部主要表现为差

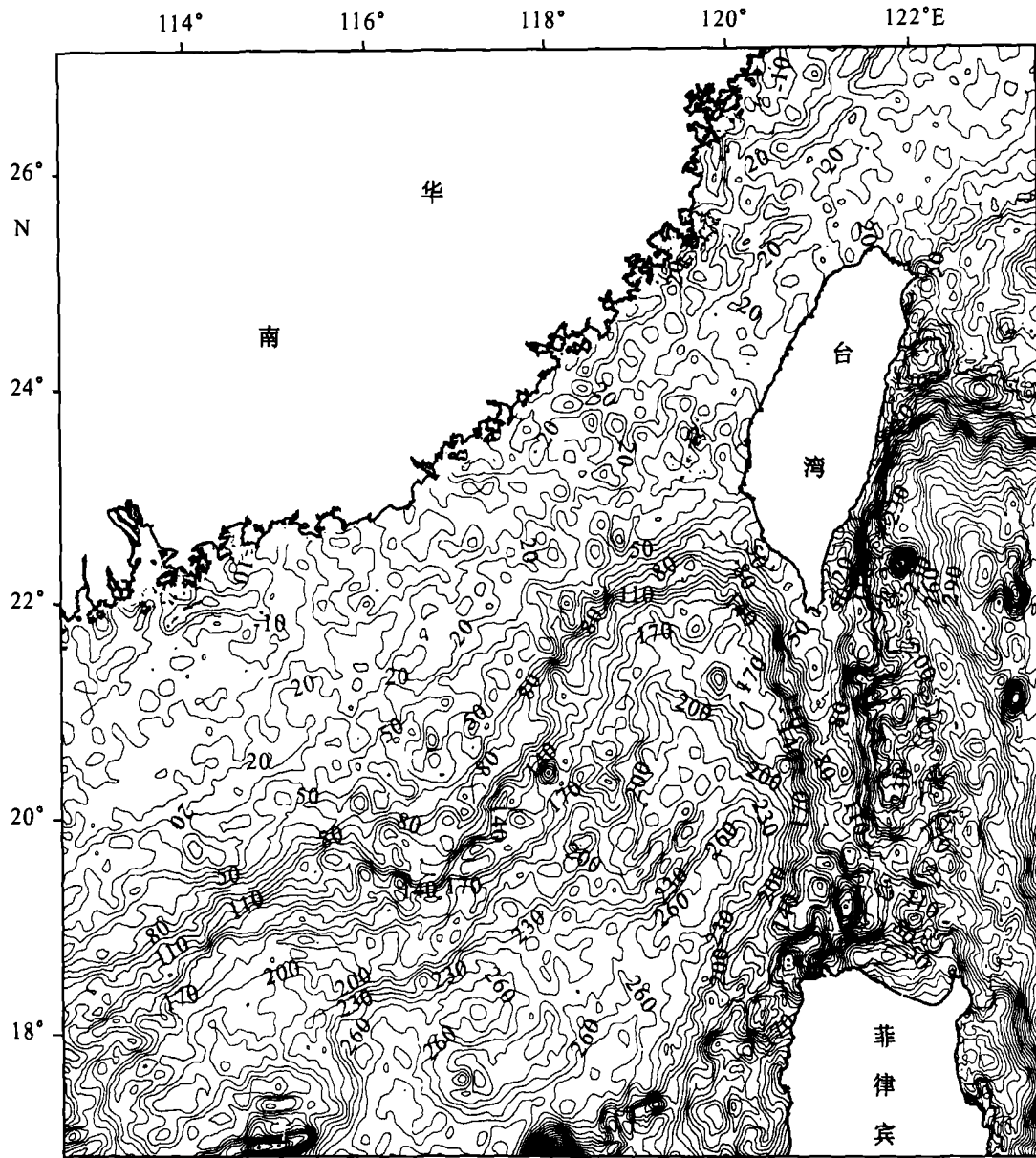


图3 卫星布格重力异常图

Fig.3 Satellite-derived marine bouguer gravity anomalies in Dongsha Islands and adjacent sea area

异升降,造成不同级次构造单元的沉积速率的差别和部分地区的剥蚀。然而,在东沙地区表现有强烈的构造抬升,造成不整合、沉积间断、岩浆活动。根据地震地层分析结合 ODP184 钻井资料(Shipboard Scientific Party, 2000),讨论本区三次重要的构造运动,特别是上新世以来的发生时间和范围。

### 3.1 南海运动

南海中央海盆的磁异常条带揭示中央海盆的扩张期是在渐新世(32Ma)到早中新世(17Ma)(Taylor *et al*, 1983; 李平鲁, 1993; Briaies *et al*, 1995)。Taylor 等(1983)提出的 11-5d 异常大致平行,近东西向展布,自 32-17Ma 东部主盆地的

扩张格局未发生显著变化。Briaies 等(1995)则还识别出磁异常 5c,认为南海海盆是 32-15Ma 期间形成的,并认为磁异常 11-6a 确是东西向展布,但 6a-5c 呈东北-南西向展布,因而扩张可分 32-20Ma 和 20-15Ma 两个阶段,前一阶段为近南北向扩张,扩张轴为近东西向展布;后一阶段,扩张轴且向西南次海盆延伸,北西-南东向的扩张导致西南海盆的打开。

从大陆边缘张裂到南海海盆扩张开始的这一构造运动称之为南海运动。这一时期东沙海区的构造演化与南中国海的扩张密切相关,李平鲁(1993)认为,南海运动发生在晚渐新世(约30Ma),

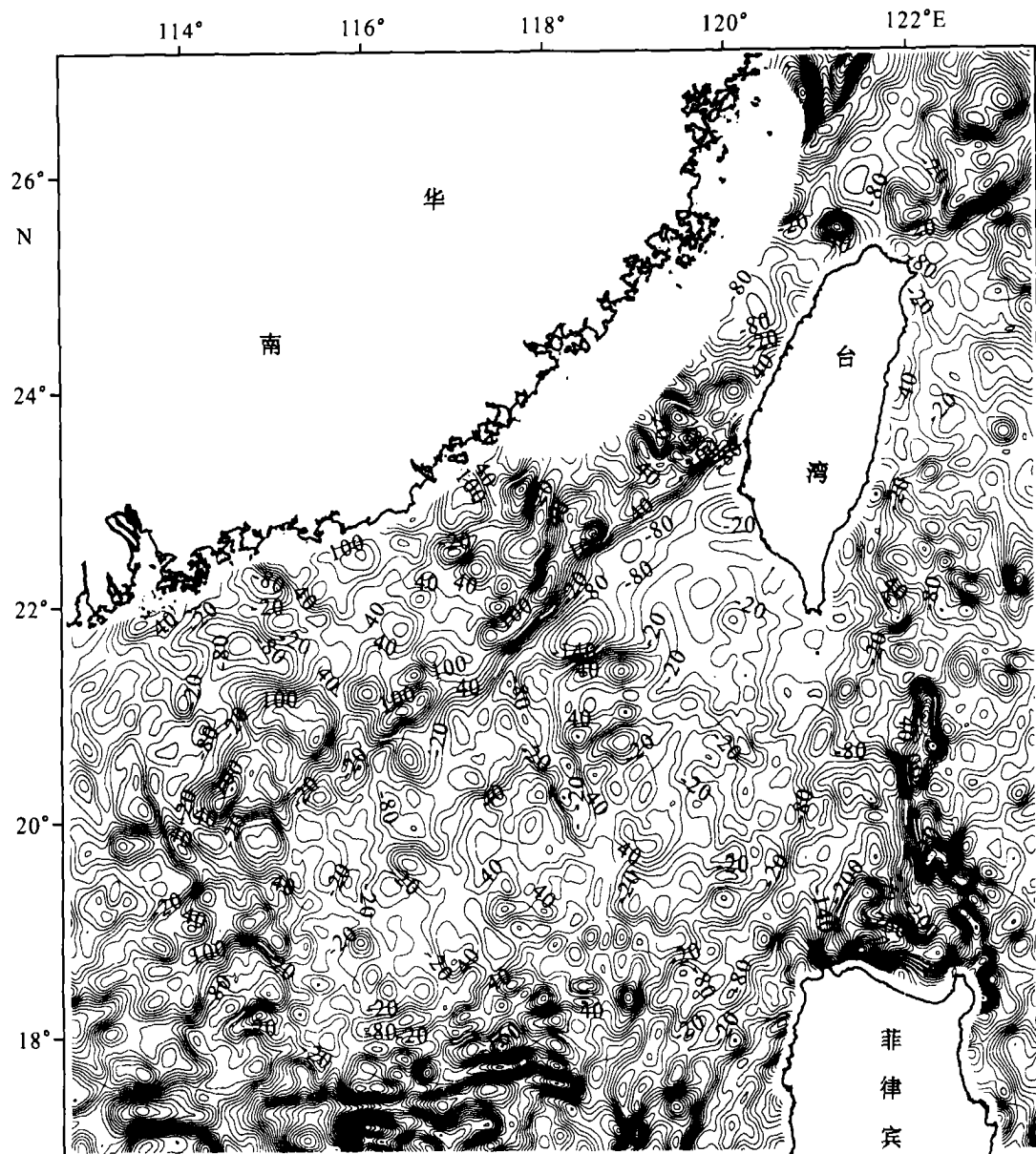


图4 化极磁力异常图

Fig.4 Magnetic anomalies in Dongsha Island and adjacent sea area

出现区域性不整合面( $T_1$ ),在东沙隆起区表现为长时期的沉积间断。岩浆活动反映了40—7.1 Ma的构造运动(Lüdmann *et al.*, 2001; 李平鲁, 1993),根据 ODP184 航次 1148 钻孔资料,孔底部基本可代表反射面( $T_1$ ),孔深 850m 对应的年代是 31.8Ma,这一年龄反映海底扩张的开始(Shipboard Scientific Party, 2000),证实南海运动的存在。在南海运动之后,随着相应的高热流值的消失和上覆沉积物的均衡作用,珠江口盆地出现进一步沉降。

### 3.2 东沙运动

在 SONNE95 航次地震剖面 05(图 5)出现明

显的不整合反射面( $T_1$ ),在 1146 和 1148 钻孔分别出现在海底以下 0.50、0.20s (TWT, 双程反射时间),表现为平行不整合或不整合和明显的相变,在 1146 钻孔对应于孔深 430m,其年龄是 9.8Ma,基本代表中中新世和上中新世的界限,更可能代表  $T_2$ ,东沙海区中新世地层直接出露在地表(Wu *et al.*, 1999),反映中新世以来的强烈隆升或后来的强烈剥蚀。在穿过 1148 钻孔的地震剖面上,出现明显的不整合,对应的年代为 4.4Ma。东沙运动使得东沙隆起进一步加剧,盆地发生差异沉降和产生一系列北东向断层和岩浆活动。从地震剖

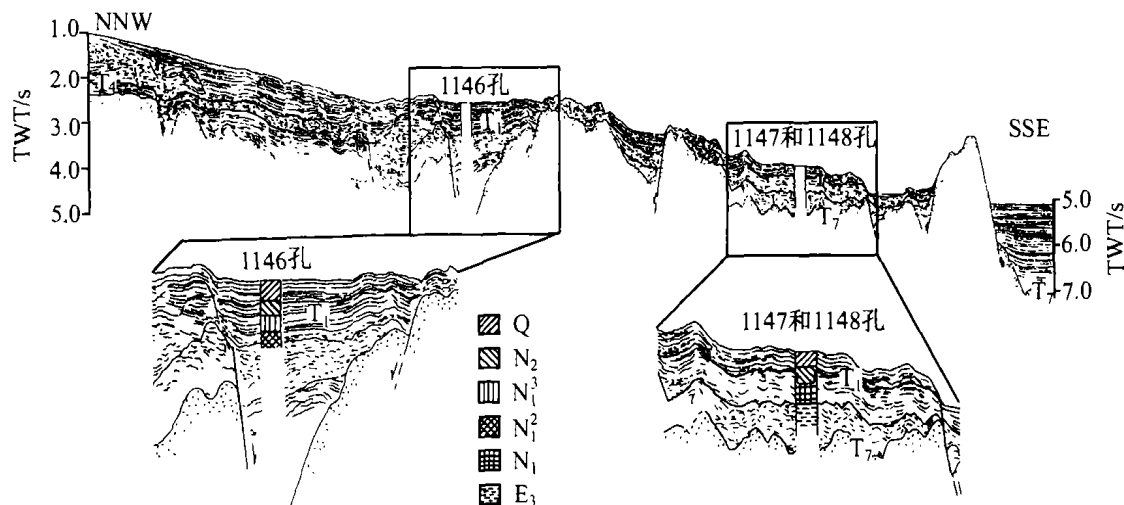


图5 太阳号95航次05地震剖面。剖面位置如图1所示

Fig.5 Seismic profile No.05. Location refers to Fig.1

面上看,出现一区域性不整合面,在地震剖面上可清楚地识别上新世与中新世地层之间的低角度不整合(图5)。ODP184航次1146钻孔对比结果表明,该不整合代表4.4Ma或更早的构造运动(Shipboard Scientific Party, 2000)。从区域上看,东沙运动发生在中新世末到上新世初,李平鲁(1993)推测东沙运动距今10—5Ma,和本研究结果非常一致。

### 3.3 流花运动

流花运动导致第四系中不整合面的出现。在SONNE95航次地震剖面05出现明显的不整合,反射面( $T_0$ )在强反射波组底部(0.2s TWT),该反射面对应于孔深150m,相应的年龄是1.4Ma。在SONNE95航次地震剖面10出现明显的褶皱,在海底0.21s TWT出现强烈的反射。该反射面在孔1145对应于孔深160m,其年龄对应于1.87Ma,基本代表上新世和早更新世的界限。这次构造运动产生断裂和褶皱,是一次十分重要的构造运动。然而,对这次运动的强度仍有争议。地震剖面上出现第四系和万山组之间的剥蚀面,有好几套地层,如万山组和粤海组,这些地层广泛出现在海底,仅有少量甚至没有沉积物,这意味着该区在第四纪经历了构造抬升和强烈水下剥蚀,并为周围低地提供沉积物源。

根据地震剖面上获得的海平面变化曲线,在东沙隆起区及其周缘凹陷,除上新世晚期有过短暂的海退,整个上新世都是海侵占优势,也说明晚上新世之前没有发生明显的构造运动。

流花运动主要根据东沙隆起带研究得出,珠1凹陷则表现为整合接触,但它具有区域代表性。对于台西南盆地,这次运动形成一个重要的不整合面(Liu *et al*, 1997),在台南盆地也出现强烈的断裂活动和差异升降,出现厚于1000m的第四纪沉积物。这次构造运动在东沙隆起的东部表现得比西部强烈,显然与弧陆碰撞(俯冲)作用有关。

### 3.4 东沙海区构造运动与弧陆俯冲(碰撞)的关系

如上所述,南海运动标志南海扩张的开始,在南海盆地打开之后,主要存在着两期构造运动,这些运动表现为侵蚀不整合,即东沙运动(Chen *et al*, 1989)和流花运动(Shipboard Scientific Party, 2000)。东沙运动表现在晚中新世末到早上新世初(9.8—4.4Ma),在地震剖面上为 $T_1$ 不整合面;流花运动出现在早更新世(1.87—1.4Ma),表现为不整合面 $T_0$ 。

从岩浆活动来探讨盆地的构造性质是一种重要且有效的方法。近年来对珠江口盆地新生代玄武岩的微量元素地球化学分布型式研究(李平鲁等, 1994)表明,它与典型岛弧区的微量元素地球化学分布极其相似,这说明它与吕宋岛弧构造的源生关系。

Lüdmann等(2001)指出,东沙运动发生在中新世/上新世、上新世/更新世,并伴生岩浆构造事件。东沙隆起带位于活动的构造区,西部是稳定的华南地块,东南发育冷却洋壳的热沉降,东面则是沿马尼拉海沟发生消减的大陆边缘,北部是残留的火山弧——澎湖凸起。根据台湾造山带的研

究结果(Teng, 1990; Lu *et al*, 1992),在晚中新世(8Ma)菲律宾板块上吕宋弧与中国大陆边缘发生碰撞,早期碰撞的前缘形成巨大的增生楔。在台湾附近,产生具有弹性变形的前陆盆地(Liu *et al*, 1997)。最后一期的碰撞发生在2.5—5Ma(Teng, 1990; Sibuet *et al*, 1997),形成Lichi混杂岩和造成山前盆地的构造不整合。

作者认为,扩张后的岩浆侵入和抬升事件与弧陆碰撞期有关。 $T_1$ 不整合面形成于9.8—4.4Ma,对应于第一次碰撞期。另一个不整合面( $T_0$ )出现在晚更新世,作者认为其发生在1.87—1.4Ma,这相对后期碰撞的主要构造运动较晚。

布格重力异常达到200mGal的正异常(图3)。扩展地震剖面记录东沙海区的下地壳存在高密层(Spanger *et al*, 1995)。GPS研究目前的最大挤压应力方向WNW-ESE( $100^\circ$ — $110^\circ$ ),这一WNW向的挤压应力场导致NEE向和NNW向的共轭剪切。拉张是由于大陆边缘沿马尼拉海沟俯冲产生挠曲而形成的张裂作用(Spanger *et al*, 1995)。

#### 4 结论

东沙海区在南海扩张后存在二次重要的构造运动,即东沙运动( $T_1$ )和流花运动( $T_0$ )。出现在早更新世的流花运动(1.87—1.4Ma)和中新世末期到上新世初期的东沙运动(9.8—4.4Ma)主要是对弧陆碰撞的响应。

两组活动断裂构造十分发育,大多具有继承性,具有多期活动。上新世—第四纪活动断裂构造大致呈NEE-NE向,具张性走滑性质。东沙隆起与台西南盆地间NW向的断裂,具有明显分划重力、磁力异常的特征,控制着该区的基底构造发育。该断裂可能是一条具有转换断层性质的左旋走滑断裂。在8Ma以前,由于台湾岛不存在,活动的古东海大陆边缘延伸至东沙群岛海区东北部。

**致谢** 本文在撰写过程中得到广州海洋地质调查局姚伯初教授、中国科学院南海海洋研究所夏戡原教授的热情帮助,谨致谢忱。

#### 参 考 文 献

中国科学院南海海洋研究所,1985.南海海区综合调查研究报告.北京:科学出版社,1—15  
刘光鼎,1992.中国海区及邻域地质地球物理特征.北京:科学出版社,1—94

- 李平鲁,1993.珠江口盆地新生代构造运动.中国海上油气(地质),7(6):11—17  
李平鲁,梁慧娴,1994.珠江口盆地新生代岩浆活动与盆地演化油气聚集的关系.广东地质,9(2):23—34  
陈斯忠,李泽松,1992.珠江口盆地东部油气勘探开发的回顾与展望.中国海上油气(地质),6(29):21—30  
金庆焕,1989.南海地质与油气资源.北京:地质出版社,1—40  
Bowin C, Lu S R, Lee C H *et al*, 1982. Plate convergence and accretion in Taiwan-Luzon region. Am Asso Petrol Geol Bull, 62:1645—1672  
Briaux A, Patriat P, 1995. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the south China Sea: Implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia. J Geophys Res, 98(B4):6299—6328  
Chen S, Hu P, 1989. Tertiary reef complexes in the Zhujiangkou (Pearl River Mouth basin) and their significance for hydrocarbon exploration. China Earth Science, 1(1):21—29  
Shemenda A I, 1994. Subduction: Insight from Physical Modeling. Dordrecht: Kluwer academic Publishers, 134—173  
Gong Z, Jin Q, Qin Z *et al*, 1989. Geology, tectonics and evolution of the Pearl River Mouth Basin. In: Zhu X ed. Chinese Sedimentary Basin. Elsevier, 181—196  
Liu C S, Huang I L, Teng L S, 1997. Structures off southwestern Taiwan. Marine Geology, 137:305—319  
Lu C Y, Hsu K J, 1992. Tectonic evolution of the Taiwan Mountain Belt. Pet Geol Taiwan, 127:21—46  
Lüdmann T, Wong H K, Wang P X. 2001. Plio-Quaternary sedimentation processes and neotectonics of the northern continental margin of the South China Sea. Marine Geology, 172:331—358  
Murphy R W, 1973. The Manila Trench-West Taiwan fold-belt: A flipped subduction zone. Geol Soc Malaysia Bull, 6:27—42  
Ru K, Pigott J D, 1986. Episodic rifting and evolutionary in the South China Sea Basin. American Association of Petroleum Geologists, 70(9):1136—1155  
Shipboard Scientific Party, 2000. Leg 184 summary: exploring the Asian monsoon through drilling in the South China Sea. In: Wang P, Prell W L, Blum P *et al* ed. Proceeding of the Ocean Drilling Program, Initial Reports. College Station TX, 1—77  
Sibuet J C, Hsu S K, 1997. Geodynamics of the Taiwan arc-arc collision. Tectonophysics, 274:221—251  
Spanger N S, Hayes D E, 1995. Gravity, heat flow, and seismic constraints on the processes of crust extension: northern margin of the South China Sea. J Geophys Res, 100(B11):22447—22483



- Taylor B, Hayes D E, 1983. Origin and History of the South China Sea Basin. In: Hayes D E ed. *The Tectonics and Geological Evolution of the South China Sea and Islands*, Part 2. American Geophysical Union, 27:23—56
- Teng L S, 1990. Late Cenozoic arc-continental collision in Taiwan. *Tectonophysics*, 183:57—76
- Tyrrell W W, Christian H E, 1992. Exploration history of Lihua 111 field Pearl River Mouth Basin, China. *American Association of Petroleum Geologists*, 76( 8 ):1209—1223
- Wu S, Wong H K, Lüdmann T, 1999. Gravity-driven sedimentation on the northwest continental slope in South China Sea: results from high-resolution seismic data and piston cores. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 17(2):155—169

## LATE CENOZOIC NEOTECTONICS IN THE DONGSHA ISLANDS REGION AND ITS RESPONDS TO COLLISION BETWEEN CHINESE CONTINENTAL MARGIN AND LUZON

WU Shi-Guo, LIU Zhan<sup>†</sup>, WANG Wan-Yin<sup>††</sup>, GUO Jun-Hua<sup>†††</sup>,  
Lüdmann T<sup>††††</sup>, Wong H K<sup>††††</sup>

(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

<sup>†</sup>(*Petroleum University, Dongying, 257000*)

<sup>††</sup>(*Engineering and Geodesy, Changan University, Xi'an, 710046*)

<sup>†††</sup>(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039*)

<sup>††††</sup>(*Institute of Biogeochemistry and Marine Chemistry, University of Hamburg, Hamburg Germany, D-20146*)

**Abstract** Dongsha Islands and adjacent sea area located at northern continental margin of the South China Sea (SCS), which is connected to the Manila Trench to the east. In order to discuss the deformation characteristics of Dongsha Islands and adjacent sea area since Late Cenozoic, and to reveal the tectonics shaped by the collision between Luzon arc and southeast Chinese continental margin, especially the responds caused by the collision, according to the analyses of seismic stratigraphy in combination with gravity, magnetic and drilling wells data, three post-rift sequences (V, VI, VII) have been discerned.

Sequence I—III deposited before the SCS rifting overlying the acoustic basement with subparallel, discontinuous and medium to high amplitude reflectors and typical faulted basin sedimentation. Terrestrial sandstones, siltstones are the major lithofacies. Sequence I, II and III correspond to Shenhu, Wanshan and Enping formations, respectively.

Sequence IV appeared in the shelf margin of the Dongsha rise, and is comprised of carbonate facies and carbonate reef facies. Well-logging showed that the bottom of this sequence is composed of chaotic, hyperbolic and high amplitude reflectors. The seismic facies may vary from fluvial to estuarine facies corresponding to Zhujiang formation. The upper part is characterized by continuous and high amplitude parallel reflectors. Sequences IV and V are divided by regional unconformity.

Sequence V and VI are marked by very continuous, high amplitude and parallel reflectors representing Miocene and Pliocene deltaic mudstones and siltstones making Yuehai formation and Hanjinag formation. The seismic exterior of the sequence changes from parallel to slanting across structural cover. The unconformity on the top (T<sub>1</sub>) is the boundary between Miocene and Pliocene.

Sequence VII downlapping and terminating on Sequence VI in the east of the study area, formed after the spreading of the SCS, and consists of parallel, continuous and medium to high amplitude reflectors. This sequence is absent in the upper continental slope. The Pleistocene strata cover directly the Sequence IV distributing westward steadily. The sequence thickness of the Wanshan anticline is only 95 m. The inner reflector is characterized by cross slanting and bending. Welllogging suggested that the lithofacies are Pliocene marine mudstones aggregated on the continental

margin. The inner reflector interface ( $T_0$ ) is the unconformity surface within Pleistocene.

Extensive tectonic uplift, magma activity, erosion, and earthquake took place in the maritime area, where most faults are still active during the Pliocene and Quaternary in the northwestern South China Sea. Two groups of faults trending NEE and NW developed during the late Cenozoic. Faulted blocks uplifted intensively and magma intruded along the faults. Widely distributed NEE faults controlled the formation of the Dongsha rise and the boundary between the uplift zone and the subsidence zone. These faults resulted from the reactivation of old fractures and are still very active. The NEE normal faults and the NW faults run across each other and the vertical offset usually reaches 1000—1500m, maximum 3000m.

NW-SE extending faults widely distributed in the Dongsha area and controlled the pattern of the basement. They have the same formation and development characteristics as those on the China continental margin before Miocene; and they were mostly formed in Yanshan and Himalaya: representing left strike-slip fault and controlling diverse uplift of the basement. Newer faulting showed distinct differences. To the west of the Dongsha area it appeared as a right lateral shear fault and had the same characteristics as those of the Honghe fault, while to the east it appeared as a left lateral shear fault. The lateral activity of the NW fault could be related to the left lateral stress when NW oriented subduction of the Luzon arc occurred. Steep incline strata and short-axis developed faulting, syn-depositional anticline and diapir can be detected on multi-channel seismic profiles.

It is concluded that two important tectonic movements have experienced in the study area. They are Dongsha movement (9.8—4.4Ma) and Liuhua movement (1.89—1.40Ma), controlled the formation of structural framework in the Dongsha Islands region. The first stage is seen at the Miocene/Pliocene boundary and the second in the lower Middle Pleistocene. Deformation in the east is stronger than that in the west. Stress field variation suggested that the tectonic uplift in the study area is contributed to magmato-tectonic events correlated to the main collision phases between Chinese continental margin and Luzon arc since 8 Ma. Before 8 Ma, active ancient East China Sea margin had reached the northeast area of Dongsha Islands region when Taiwan Island had not yet occurred.

**Key words** Late Cenozoic tectonic movement, Seismic stratigraphy, Arc-continent collision, South China Sea

---

### 征集《海洋与湖沼》封面彩色图片

为了使《海洋与湖沼》期刊封面能更好地与国际期刊接轨,又能体现出其学科特色,起到美化封面的效果,自2004年第1期开始,拟定每期更换一个彩色封面图片,故向广大海洋湖沼科技工作者组约附有较高学术价值的质优彩色图版的稿件,一旦选用,稿件优先发表。欢迎积极投稿。

来稿请寄:青岛市南海路7号《海洋与湖沼》编辑部收

E-mail: pychen@ms.qdio.ac.cn 电话:0532:2898753