

台湾岛以东海域加瓜“楔形”带 对冲绳海槽南段的构造控制*

郑彦鹏^{**} 刘保华 吴金龙 梁瑞才 刘晨光 张政民

(中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266003; 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061; 海洋沉积
与环境地质国家海洋局重点实验室, 青岛 266061)

摘要 基于实际调查资料与历史基础资料的综合分析解释, 对台湾岛以东海域加瓜“楔形”构造带的地球物理场特征、构造属性和冲绳海槽南段弧后扩张的构造主应力方向及其变化规律进行了研究; 提出加瓜“楔形”构造带在构造上与加瓜海脊及其东、西两侧断陷盆地相对应; 并对西菲律宾海板块的运动方向和运移量进行了调整, 使构造带以东的西菲律宾海盆的北西向运动转为西侧的向北俯冲, 从而导致冲绳海槽构造主应力方向由 NW-SE 方向逐渐转成近南北向, 为冲绳海槽进入第二次拉张-扩张阶段提供了应力来源。

关键词 台湾岛以东海域 “楔形”构造带 冲绳海槽 构造控制

台湾岛以东海域是中国乃至世界上独特的正在活动的弧-陆碰撞型大陆边缘, 其东侧为NE-近EW走向的琉球沟-弧-盆系, 南侧为近N-S走向的马尼拉海沟和吕宋岛弧。它在构造属性上不同于琉球沟-弧-盆系, 但两者之间又存在一定的成因联系(图 1)^[1-3]。

20 世纪 90 年代以来, 随着海洋地球物理勘探与多波束全覆盖测量等新技术、新方法的广泛应用, 对冲绳海槽和台湾岛以东海域开展了若干海洋地质地球物理调查和研究工作。1995 年 9 月 R/V Ewing M 在

台湾岛以东海域进行了多道地震探测; 1996 年 5~6 月 R/V L'Atalante 考察船在台湾岛以东海域和以南海域进行了多波束全覆盖测量、重力、磁力和地震探测, 取得了大量的重要信息¹⁾; 1999~2000 年, 国家海洋局第一海洋研究所在冲绳海槽和台湾岛以东海域进行了多波束全覆盖及地质地球物理综合调查, 获得了大量的多波束全覆盖测深、重力、磁力和地震探测资料。本文基于国家海洋局第一海洋研究所调查获得的实际资料与历史基础资料的综合分析解释,

2003-10-08 收稿, 2004-08-12 收修改稿

* 国家自然科学基金项目(批准号: 40176016, 40406013)和国家海洋局青年海洋科学基金项目(批准号: 98405)共同资助

** E-mail: zhengyp@public.qd.sd.cn; zhengyp@fio.org.cn

1) Sibuet J C, Angelier J, Lundberg N, et al. Taiwan Arc-Continent Collision: Record of Collisional & Post-collisional Stages. ODP Proposal, 1995, 492: 1~6

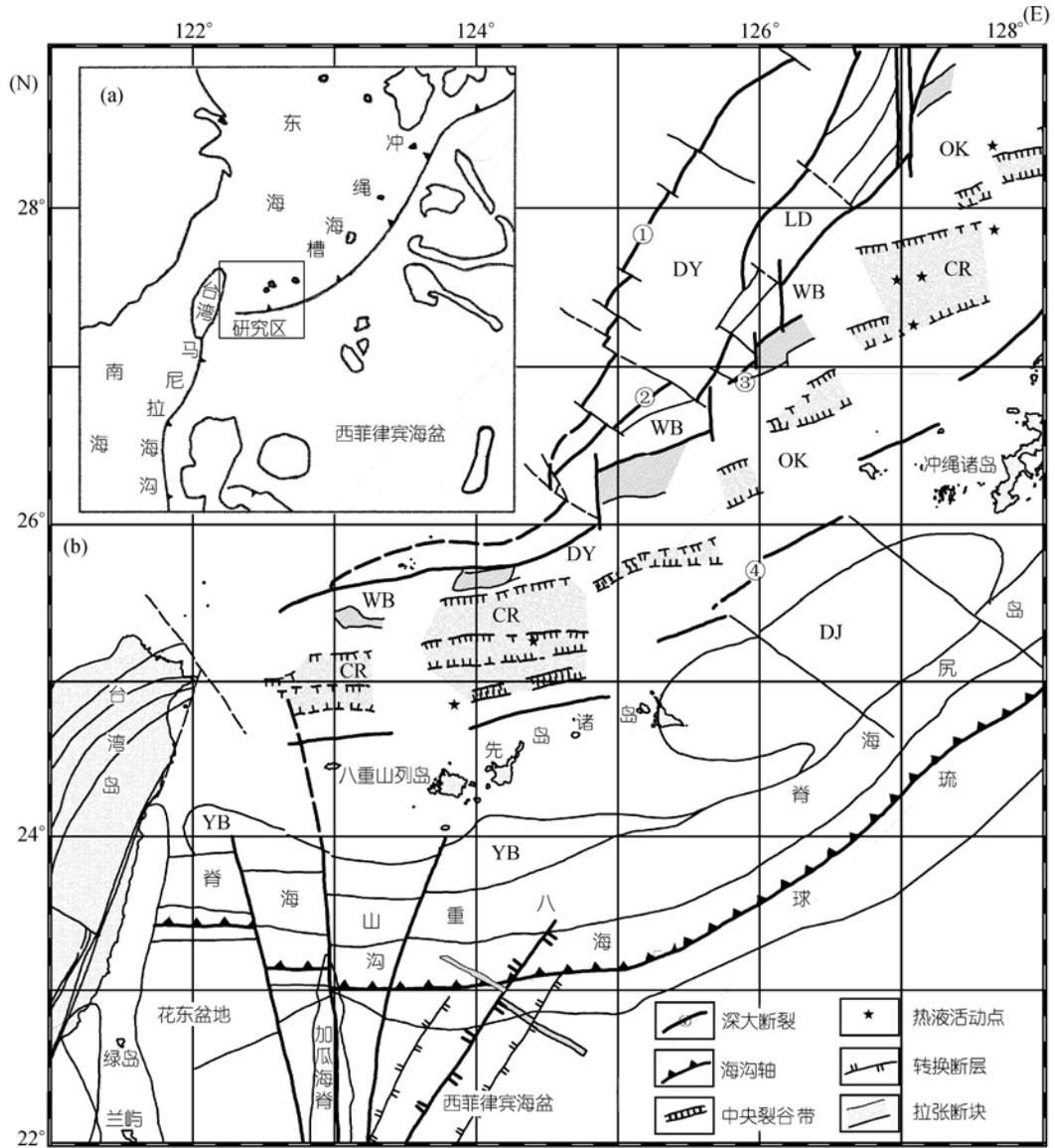


图 1 研究区地质构造图

(a) 研究区大地构造位置图; (b) 研究区及邻区构造图。示基隆-西湖断裂带; 示东海陆架边缘断裂带; 示东海陆坡断裂带; 示冲绳海槽东缘断裂带。DY, 东海陆架边缘隆褶带; OK, 冲绳海槽张裂带; LD, 东海陆架前缘拗陷带; WB, 冲绳海槽西部拉张盆地; CR, 冲绳海槽中央裂谷带; DJ, 岛尻拗陷; YB, 八重山盆地

对台湾岛以东海域加瓜“楔形”构造带的地球物理场特征、构造属性和冲绳海槽南段构造走向及其变化规律进行了研究。

1 问题的提出

长期以来, 国内、外学者一般均赞同“菲律宾海

板块俯冲产生的构造应力为冲绳海槽形成的主要动力来源”。最新研究成果表明, 在冲绳海槽南段轴部识别出的中央裂谷带由数条规模不等的裂谷雁行排列组成, 总体呈 NEE-近 EW 向, 具有地震、火山和构造活动强烈以及高热流、强热液活动特征, 随着轴部地壳的进一步减薄和张裂, 在局部地段可能

已发生海底扩张作用和新洋壳的生成,海底扩张与构造主应力方向呈近南北向,与菲律宾海板块北西向俯冲产生的构造应力之间存在一定的夹角^[4].

图 2 表明,控制台湾岛以东海域构造格局的基底深大断裂主要为沿加瓜海脊延伸的近南北向断裂以及其西侧的 NNW 向断裂和东侧的 NNE 向断裂,它们将加瓜海脊及其两侧断陷盆地与周围板块构造单元分割开来,该带两侧在海底地形和地球物理场特征上均存在差异,尤其以磁力异常特征最为显著.随着西菲律宾海板块的 NW 向运移,沿该构造带发生东侧洋壳的下沉和西侧洋壳的相对抬升,同时也对西菲律宾海板块的运动方向和运动速率进行了调整,西菲律宾海板块运动方向由 NW 向经该构造带调整后顺时针旋转为 N-NNW 方向,与冲绳海槽南段的 NEE 近 EW 向构造走向在空间上存在着对应关系.

2 加瓜“楔形”构造带板块运动学特征

加瓜海脊位于台湾岛以东海域,是一个线形无震海脊,南北延伸约 350 km,宽 30 km,高出海底 3~4 km,洋壳基底埋深约 1~2 km,多波束全覆盖水深资料揭示出加瓜海脊上的峰顶或沟槽一般呈 NNW-SSE 走向,推测可能与沿加瓜海脊分布的 N-S 向走滑断裂活动有关.

2.1 地球物理场特征

如图 2 所示,海底地形、空间重力异常、磁力异常和横穿加瓜海脊的综合地球物理剖面均揭示出控制该区构造格局的几条断裂带.其中,一条 NNW 向基底断裂 F1 将花东盆地和加瓜海脊西侧断陷盆地分割开来;一条 NNE 向基底断裂 F3 将西菲律宾海盆和加瓜海脊东侧断陷盆地分开,沿加瓜海脊中央存在一条近 N-S 走向的走滑断裂 F2.上述断裂带形成一个由北向南的“楔形”,具有复杂而特殊的地球物理场特征.由于该“楔形”构造带主要由加瓜海脊及其东、西两侧的断陷盆地共同组成,故称之为加瓜“楔形”构造带.

加瓜“楔形”构造带与西侧的花东盆地、东侧的西菲律宾海盆等构造单元在空间重力异常、磁力异常以及磁条带的年龄和延伸方向上均存在差异,尤其以

磁力异常特征最为显著.图 3 显示花东盆地的磁条带方向为 268°~270°,呈东西向延伸,由北向南大致可识别出第 15~19 号磁条带.西菲律宾海盆的磁条带呈 NW-SE 向延伸,与西菲律宾海盆的中央扩张脊方向基本一致,数条转换断层将其错断,从中大致可判识出 13, 15~18 号磁条带,花东盆地和西菲律宾海盆的磁条带延伸方向之间存在 30°~40°的夹角;两个构造单元之间的加瓜“楔形”构造带磁异常特征比较杂乱,无法识别出磁条带异常.与此类似,花东盆地和西菲律宾海盆的空间重力异常在异常值大小、等值线形态上存在相似性,而位于其间的加瓜海脊呈现为一明显的近 SN 向升高异常带,异常值为正值,向两侧呈降低异常,其中向东侧空间重力异常的降低幅度和梯度均大于西侧,向北与琉球海沟 EW 向负异常带相连,但与其两侧的异常特征明显不同.

2.2 加瓜“楔形”构造带的地壳属性

至今为止,对加瓜海脊的板块构造属性和所处的构造位置仍不甚了解,对其成因也众说不一.Sibuet 等人^[5]认为加瓜海脊是相邻板块构造单元相互作用期间形成的一个板块边缘转换断层,形成于某一地质历史时期(约 13 Ma,中中新世)的琉球板块俯冲带和马尼拉板块俯冲带之间,之后吕宋岛弧的北西向碰撞和拼接使该转换断层遭受挤压后隆起,但在两个俯冲方向相对的板块俯冲带之间形成规模如此巨大、延伸距离如此之长的转换断层,其动力学机制解释尚需进一步的探讨.

从图 2(c)可以看出,加瓜“楔形”构造带存在重力异常并置排列特征,即在加瓜海脊呈重力异常高值,向东、西两侧变为降低重力异常.高正异常反映该构造带由高密度的物质组成,并且海底取样揭示的部分岩石样品上具有擦痕,或遭受了蚀变^[6],反映加瓜“楔形”构造带早期应处于一种挤压环境.研究表明,加瓜“楔形”构造带和花东盆地的基底是西菲律宾海板块西缘隆起的洋壳,随着菲律宾海板块向西北方向的运移和挤压,沿加瓜“楔形”构造薄弱带基底发生东侧洋壳的俯冲和西侧洋壳的相对抬升,使加瓜海脊两侧水深差值高达 400~500 m,并且上部地壳和沉积层的挤压隆起也导致加瓜海脊的迅速抬升.

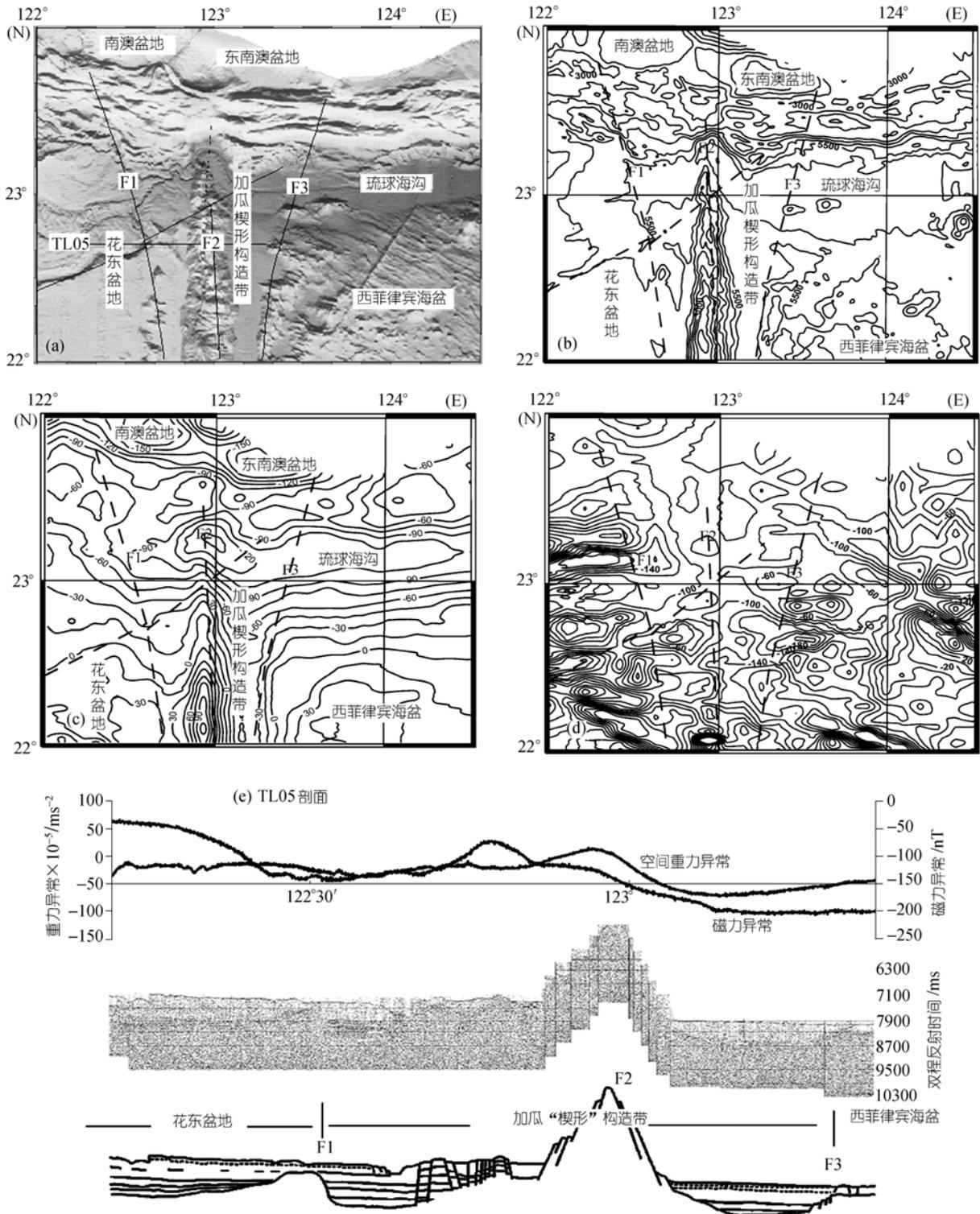


图 2 加瓜“楔形”构造带地球物理场特征

(a) 海底渲染图; (b) 海底地形图; (c) 空间重力异常图; (d) 磁力异常图; (e) 综合地球物理剖面, 剖面位置见图(a). F1, 加瓜海脊西侧断裂; F2, 沿加瓜海脊的基底走滑断裂; F3, 加瓜海脊东侧断裂

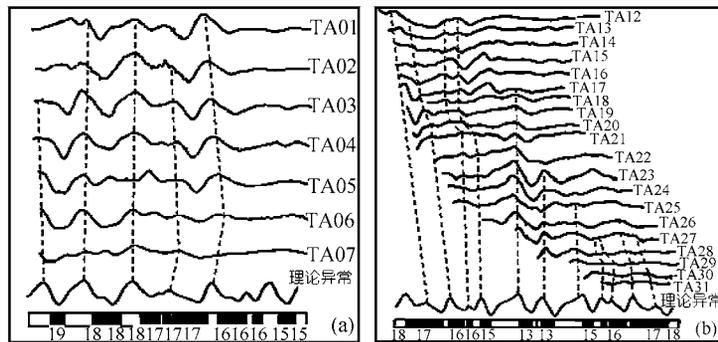


图 3 加瓜“楔形”构造带两侧磁条带特征

(a) 加瓜“楔形”构造带西侧近 E-W 向磁条带, 磁条带编号为 16~19; (b) 加瓜“楔形”构造带东侧 NW-SE 向磁条带, 磁条带编号为 13~18

2.3 加瓜“楔形”构造带对台湾岛以东海域板块运动方向的调整

现代板块运动数据表明, 菲律宾海板块以 7 cm/a 的速率向北西 310°方向运移, 沿琉球海沟俯冲在欧亚板块之下。根据最新调查获得的多波束全覆盖测深、空间重力和磁力资料, 在琉球海沟西段西菲律宾海板块向北运移并俯冲在琉球岛弧之下的特征十分明显, 为典型洋-陆板块俯冲带地球物理场特征, 并在不同板块位置存在运动方向和运移速率的差异。

加瓜“楔形”构造带及其两侧构造单元具有不同的特征。西菲律宾海盆存在 NW-SE 向的磁条带, 可识别出 13, 15~18 等编号的磁条带和 NNW 向延伸的中央扩张脊, 在菲律宾海板块的运移过程中, 中央扩张脊向北西方向运移并俯冲在琉球海沟之下。花东盆地的磁异常呈近 EW 向, 由北向南可判识出编号 16~19 的磁条带, 为扩张脊南翼的磁条带, 扩张脊及其北翼的磁条带已快速俯冲消亡于琉球岛弧之下, 洋壳基底的年龄相对西菲律宾海盆要老一些。加瓜海脊及其两侧断陷盆地由于强烈的构造活动和两侧板块的水平差异运动, 磁异常变得支离破碎, 无法对磁条带进行判识。

加瓜“楔形”构造带对西菲律宾海板块的运动方向和运动速率的调整主要体现在板块运动方向由加瓜海脊东侧的 NW 向旋转为西侧花东盆地的 N-NNW 方向。并且, 加瓜海脊两侧存在板块的差异性运移, 主要表现为琉球海沟及东南澳盆地、南澳盆地和希望

盆地等弧前盆地向 NW 方向的依次雁行排列^[2](图 4), 这与花东盆地和西菲律宾海盆磁条带及其向北运移速率不同的推测是一致的。

3 冲绳海槽北、中段与南段构造特征与形成演化

国内学者过去对冲绳海槽的研究主要集中在海底地形、地貌、地球物理场特征、地壳性质、形成机制和构造演化等几个方面, 虽然对其地壳性质、张裂机制等研究存在分歧^[8], 但多数学者基本赞同“冲绳海槽经历了两次弧后扩张”的观点, 并逐步开始研究海槽南段与北中段构造发展的差异性^[4]。1998 年以来, 国内、外学者对冲绳海槽南段的地震、海底火山、热流值以及热液活动等进行了监测, 并已逐步开展冲绳海槽南段构造演化的活跃性与台湾弧-陆碰撞体系演化的时空响应等方面的研究^[9~12]。

3.1 冲绳海槽北、中段现代活动断裂

图 5 为多波束全覆盖测深资料编绘的冲绳海槽中段海底晕眩图, 清晰地揭示了海底微地形特征, 通过与其他地球物理资料的分析对比, 图中 NE-NEE 向线理是出露海底的活动断层或强火山活动形成的海山链在海底地形上的反映, 表明冲绳海槽北中段轴部裂谷系主构造走向为 NE-NEE 向, 与海槽外侧的构造走向斜交。

3.2 冲绳海槽南段构造走向及其变化规律

图 6 为基于多波束全覆盖测深及其他地质地球

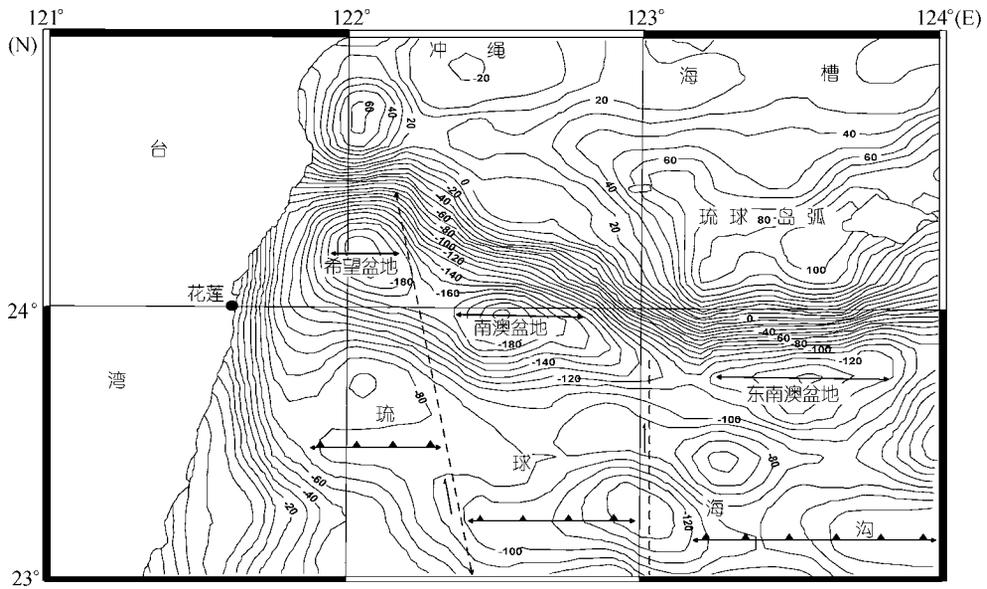


图 4 琉球沟-弧-盆系南段构造走向的雁行排列

等值线为空间重力异常, 据文献[7]编制

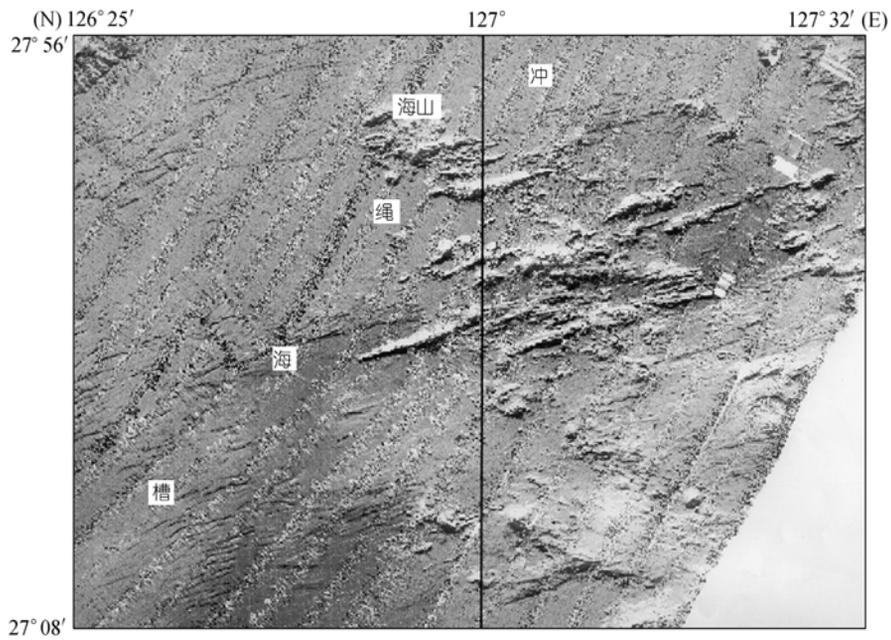


图 5 冲绳海槽中段的现代活动断裂

NE-NEE 向线理是出露海底的活动断层或强火山活动形成的海山链

物理资料编绘的冲绳海槽南段构造图. 冲绳海槽南段轴部可识别出若干条裂谷, 总体为近东西向, 呈雁

形排列. 在海槽不同位置裂谷的形态、规模和发育程度并不完全相同, 典型的裂谷在高分辨率地震剖面

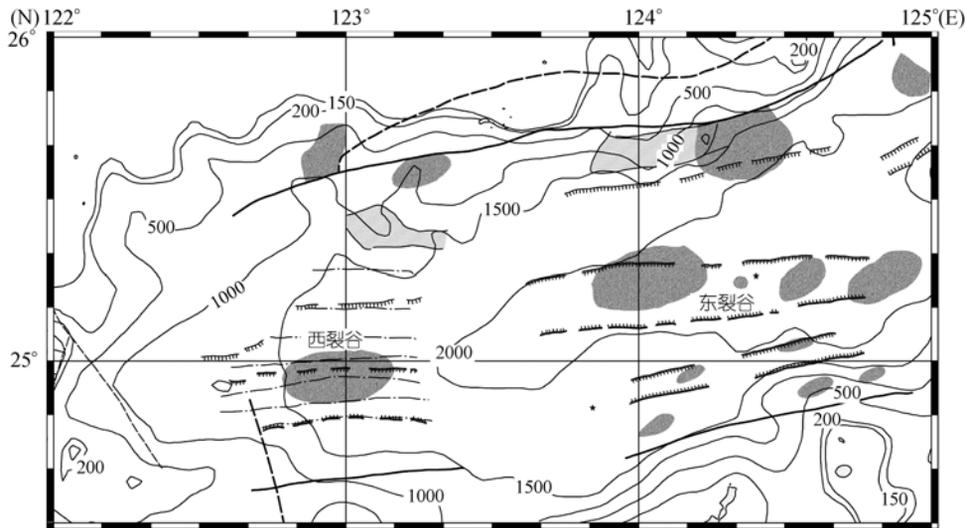


图 6 冲绳海槽南段构造图

上表现为现代断裂十分强烈的正在活动的地堑槽, 侧翼往往见到“未变形的沉积”上覆在变形地层(或基底)之上。

在冲绳海槽南段主要发育有两条裂谷, 东段偏北, 西段偏南, 呈雁行排列, 南北偏移距离约为 3 km。

3.3 冲绳海槽北、中段与南段构造演化的差异

冲绳海槽作为一个年轻的弧后盆地, 可能经历了两期的弧后拉张作用和构造变形。

在晚中新世之前, 冲绳海槽的北、中段是由白垩纪花岗岩和更老岩石组成的隆起区。在晚中新世, 该隆起区开始开裂, 冲绳海槽的雏形出现, 并伴有岩浆活动造成的花岗岩底辟带。在中新世末, 原始海槽大致沿 NNE-NE 方向张裂, 使琉球岛弧与东海陆架边缘裂离, 形成早期的冲绳海槽, 伴随早期冲绳海槽地壳的进一步拉张形成了一个狭长的半地堑型断陷盆地——陆架前缘拗陷。从陆架前缘拗陷带的沉积厚度看, 盆地基底最大埋深超过 10~12 km, 表明这次拉张已使海槽初始的陆壳被大规模减薄。这次拉张是冲绳海槽第一次拉张过程, 拉张方向为 NW-SE 向。根据中新统分布特征, 拉张过程由北向南进行, 并且只发生在赤尾屿以北(26°N 以北)的冲绳海槽北、中段, 冲绳海槽南段处于抬升和剥蚀的阶段。

根据岩石和磁条带年龄数据以及其他地质地球

物理资料推测, 在上新世末-更新世初, 海槽的拉张方向由 NW-SE 向逐渐转成近南北向, 冲绳海槽进入了第二次拉张-扩张阶段。拉张作用首先从冲绳海槽南段开始, 向北可延伸至海槽中段, 随着冲绳海槽轴部地壳的进一步减薄和张裂, 在海槽轴部形成了数段 NEE 向中央裂谷带, 呈雁行排列, 中央裂谷带的构造活动明显加强, 在南段和中段局部已发生海底扩张作用, 扩张方向为近 N-S 向, 并在海槽南段和中段的局部地区生成新洋壳。这次拉张-扩张作用的特点在于拉张-扩张方向明显改变, 裂谷延伸方向与冲绳海槽总体走向明显斜交, 此外, 海槽轴部裂谷带的构造活动和地壳性质也已发生质的变化。

4 加瓜“楔形”构造带的形成演化及其对冲绳海槽南段的构造控制

前已述及, 加瓜“楔形”构造带造成两侧构造单元具有不同的板块运动方向与速率, 加瓜海脊东侧断裂 F3 以西的西菲律宾海板块表现为北西向线状脊-槽相间排列并遭受北北东向转换断层切割后形成的断块构造特征, 北西向俯冲在琉球海沟之下; 加瓜海脊西侧断裂 F1 以西花东盆地的磁异常方向为近 EW 向; 再向西, 台湾岛上的主构造线则呈近南北向, 与其南侧的吕宋岛弧一致, 表明加瓜“楔形”构造带与台湾碰撞造山带和西菲律宾海板块运移的时空演化关

系密切。

在中中新世(6.5 Ma 左右), 北吕宋岛弧和南海被动大陆边缘在台湾东部发生的弧陆碰撞作用开始了台湾碰撞造山的历史, 由于碰撞和消减作用是斜向的, 北吕宋岛弧发生顺时针的旋转, 形成向北延伸的海岸山脉带。该时期的加瓜海脊还未抬升或构造变形, 与其两侧断陷盆地具有相同的基底地壳和上部沉积结构, 地震剖面(图 2(e))揭示加瓜海脊两侧断陷盆地具有相似的沉积结构, 推测沉积厚度超过了 1.2 km。

在早上新世, 北吕宋岛弧向北运动和台湾弧陆碰撞作用仍在继续进行, 伴随着菲律宾海板块 NW 方向的持续运移, 东侧 NW 方向和西侧 N-NNW 方向的板块差异运动及其产生的构造应力被位于原始加瓜海脊的构造薄弱带所调整和吸收。根据两侧板块运动的方向推测在加瓜“楔形”构造带产生的构造应力为压扭性, 早期的加瓜“楔形”构造带遭受了强烈的挤压变形, 造成加瓜海脊的抬升和上部地壳的缩减, 并导致花东盆地沿逆时针方向旋转了大约 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 。

至上新世末, 由于北吕宋岛弧以向北运动为主, 通过加瓜“楔形”构造带的数条断裂右旋走滑调整作用使各板块的向北运动自东向西运移量逐步增大。这一现象由图 4 实测资料所证实, 板块向北产生差异性运移并俯冲于琉球岛弧之下, 导致冲绳海槽构造主应力方向由 NW-SE 向逐渐转成近南北向。

因此, 加瓜“楔形”构造带的形成演化对冲绳海槽进入第二次扩张阶段具有重要的控制作用。加瓜海脊的向北俯冲引起琉球海沟及其弧前区发生强烈的构造变形, 在图 2(a)和 2(c)中反映十分明显。

5 结论

综上所述, 本文获得如下几点结论:

(1) 加瓜“楔形”构造带是由一系列压扭性基底深大断裂控制的南北向构造带, 具有复杂而特殊的地球物理场特征, 在构造上与加瓜海脊及其东、西两侧断陷盆地对应。

(2) 加瓜“楔形”构造带位于北西向运动的菲律宾海板块与向北运动的北吕宋岛弧系的结合部, 两者的差异性运动控制了该构造带的形成和演化。

(3) 加瓜“楔形”构造带对西菲律宾海板块的运动方向和运移量进行了调整, 由构造带以东的北西向旋转为西侧的向北俯冲, 导致冲绳海槽构造主应力方向由 NW-SE 向逐渐转成近南北向, 为冲绳海槽进入了第二次扩张阶段提供了应力来源。

(4) 冲绳海槽经历两期的弧后拉张-扩张作用。中新世末的第一次拉张为 NW-SE 向, 拉张过程由北向南进行, 并且只发生在 26°N 以北的冲绳海槽北、中段。在上新世末-更新世初的第二次拉张-扩张阶段, 拉张方向由 NW-SE 向逐渐转成近南北向, 首先从冲绳海槽南段开始, 向北可延伸至海槽中段, 并伴有局部的海底扩张作用。

致谢 本文得到国家海洋局第一海洋研究所韩国忠和王勇副研究员的大力支持和帮助, 在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 黄镇国, 张伟强, 钟新基, 等. 台湾板块构造与环境演变. 北京: 海洋出版社, 1995. 2~67
- 2 李茂松, 曾维军. 台湾地质与板块构造模式. 海洋地质与第四纪地质, 1987, 7(4): 29~37
- 3 郑彦鹏, 刘保华, 吴金龙, 等. 台湾以东海域构造及其板块运动特征. 海洋学报, 2003, 25 (增刊 1): 31~38
- 4 刘保华, 郑彦鹏, 刘晨光, 等. 冲绳海槽的构造特征及其形成演化. 见: 专项学术交流会筹备组. 中国专属经济区和大陆架勘测研究论文集. 北京: 海洋出版社, 2002. 98~106
- 5 Sibuet J C, Hsu S K, Pichon X L, et al. East Asia plate tectonics since 15 Ma: Constraints from the Taiwan region. Tectonophysics, 2002, 344: 103~134[DOI]
- 6 Mrozowski C L, Lewis S D, Hayes D E. Complexities in the tectonic evolution of the West Philippine Basin. Tectonophysics, 1982, 82: 1~24[DOI]
- 7 Hsu S K, Sibuet J C, Monti S, et al. Transition between the Okinawa Trough Backarc extension and the Taiwan collision: New insights on the southernmost Ryukyu subduction zone. Marine Geophysical Researches, 1996, 18: 163~187[DOI]
- 8 刘光鼎. 中国海区及邻域地质地球物理特征. 北京: 科学出版社, 1992. 160~178
- 9 Lee C S, Tsai C F, Chung S L, et al. Active interaction of submarine volcanoes and ocean current in the southernmost part of Okinawa Trough. Eos Trans (Abstract), 1998: 79~858
- 10 Sibuet J C, Letouzey J, Barrier F, et al. Back arc extension in the Okinawa trough. J Geophys Res, 1987, 92: 14041~14063
- 11 马宗晋, 王乾盈, 徐杰, 等. 台湾海峡两岸横向构造的对比研究. 中国科学, D辑, 2002, 32 (6): 441~451[摘要][DPF]
- 12 邓起东, 张培震, 冉勇康, 等. 中国活动构造基本特征. 中国科学, D辑, 2002, 32 (12): 1020~1030[摘要][DPF]