

南冲绳海槽及其邻域的磁性基底与地壳结构

林长松 王松才 王 英

(国家海洋局第二海洋研究所, 海底科学重点实验室, 杭州 310012)

摘 要 研究区域的基底断裂构造十分发育. EW、NEE 和 NE 向基底大断裂宏观上构成和控制区域地质构造的基本格架; NS、NNW 和 NW 向断裂多为张扭性平移断层, 它们对基本格架起强烈的分割破坏和错断作用, 形成和控制次一级区域差异性的构造运动和岩浆活动特征.

东海陆架边缘隆起带磁性基底埋深一般为 3~4 km. 基底由前中新世变质岩系及不同时期形成的火成岩类组成. 地壳厚度为 24~28 km, 为大陆地壳.

南冲绳海槽盆地磁性基底埋深一般为 5~7 km, 可划分出 4 个次一级盆地. 基底极可能由前中新世以来海槽张裂运动所形成的玄武岩层或部分变质岩系组成, 靠近陆坡脚处可能包括前第三纪的老地层. 地壳厚度为 15~20 km, 地壳为亚大洋型.

关键词 基底断裂 磁性基底 地壳结构

1 引言

冲绳海槽是一典型的弧后盆地. 由于它地处欧亚板块与菲律宾海板块相互作用的过渡带上, 具有独特的地质内涵, 因而受到诸多地学工作者的关注, 尤其南冲绳海槽由于是冲绳海槽构造运动最为剧烈的区域而备受重视. 国内外一些学者曾基于少部分地震剖面 and 地磁剖面, 对南冲绳海槽的沉积建造、地壳结构和断裂构造等作了一定程度的研究^[1~4], 但相对于整个冲绳海槽而言, 南冲绳海槽的地球物理研究是最为薄弱的, 这可能是由于缺乏详尽全面的资料, 因而难以作系统的研讨, 留下某些空白与不足. 90 年代中期, 我们首次在该区域获得较大面积、详尽系统、高精度的海洋地磁和重力资料及地震资料, 从而为较系统全面的探讨提供了基础. 本文拟通过重磁及其位场转换资料, 并结合其他地质、地球物理资料, 重点对南冲绳海槽及其邻域的磁性基底埋深与基底断裂系统分布、基底性质、基底构造特征以及地壳结构等作更深入的探讨.

本文于 1998-09-28 收到; 修改稿于 1999-05-12 收到.

第一作者简介: 林长松, 男, 52 岁, 副研究员, 从事海洋地质、地球物理研究.

2 基底断裂构造

根据重磁异常区域特征差异的分界线、异常梯阶带、线性异常带、串珠状异常分布以及异常带被扭曲、错断与突变等特征,可基本推断基底断裂的分布状况;此外,结合磁异常的化极、延拓(图 1、2)、异常的位场转换以及方向导数求取等,可直观地反映和确定不同方向断裂的分布状况.

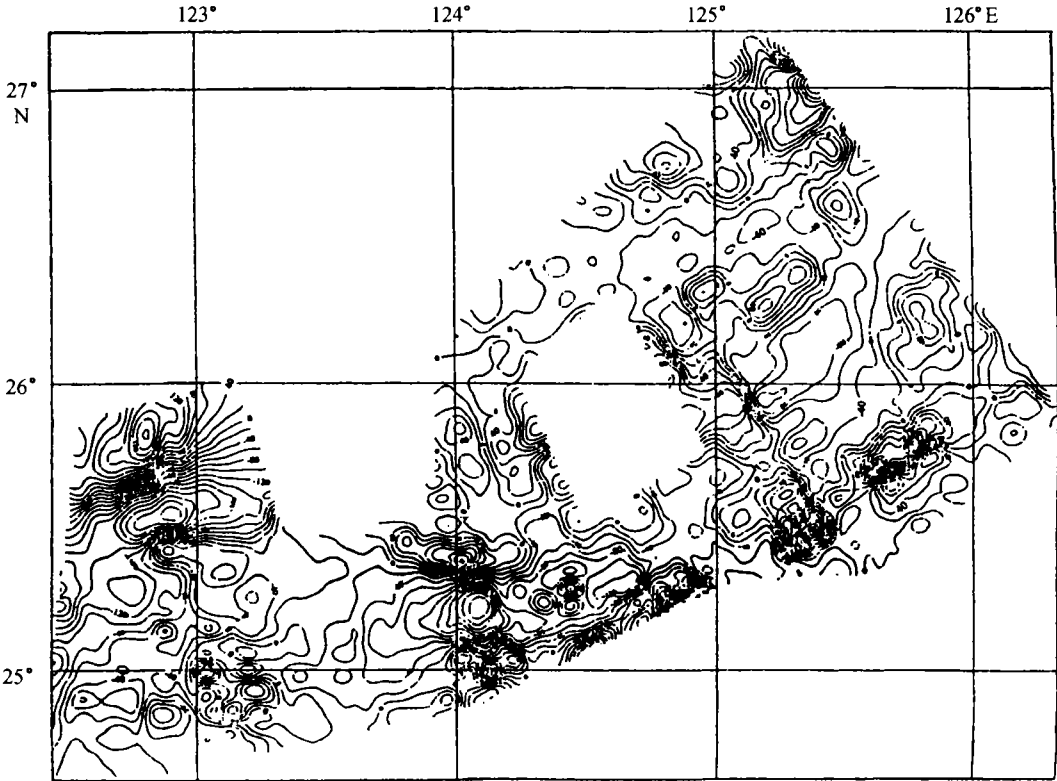


图 1 地磁异常 $[\Delta Z_{\perp}(\text{nT})]$ 图

如图 3 所示,该区域断裂非常发育,初步确定了各种规模的断裂近 40 条,依据其走向可分为两组:一组为 EW(或近 EW)向、NEE 向及 NE 向,另一组为 NS(或近 NS)向、NNW 向和 NW 向.前一组为张性正断层,沿各构造带的走向展布,该组基底大断裂宏观上控制和构成南冲绳海槽及其邻近海域地质构造的基本格架.后一助 多为张扭性平移断层,对测区的基本格架起分割破坏和错断作用,切块分割各构造带,形成和控制次一级构造区域各具特色的构造运动和岩浆活动.

2.1 EW(或近 EW)向、NEE 向和 NE 向断裂

该组断裂沿区域主构造线方向展布.其性质均属正断层,其中不同构造带之间的边界断裂,以规模大、延伸远、落差大为特点,并对各构造带的沉积厚度、岩浆活动、构造发展等起明显的控制作用.

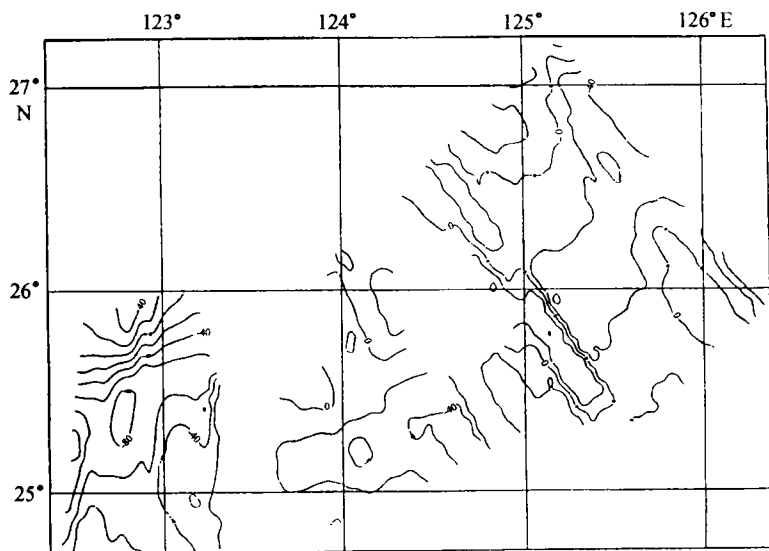
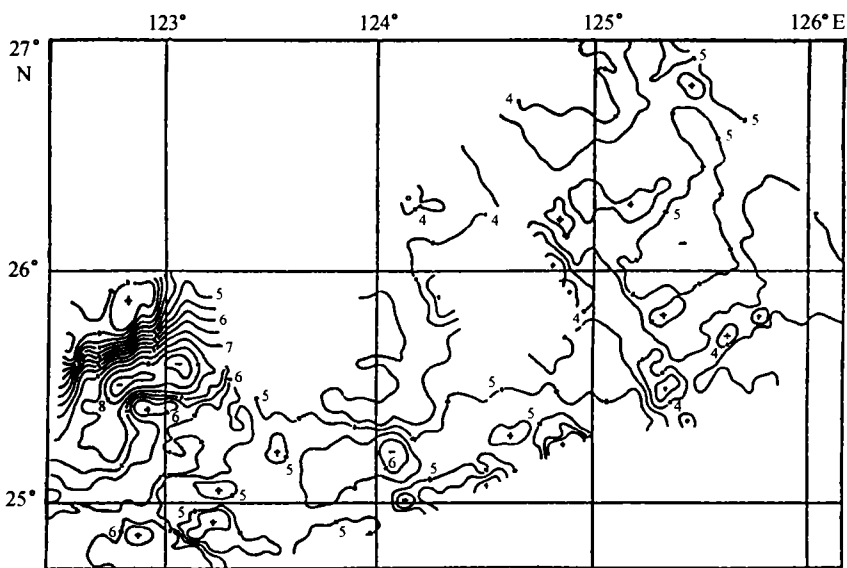
图2 地磁异常 $[\Delta Z_{\perp}(\text{nT})]$ 图

图3 磁性基底埋深(km)分布图

由于受NW向断裂的分割作用,该组断裂在不同的次一级构造区块展布方向有所不同,大致以近NS走向的仲神断裂(延向日本仲神岛,断裂编号㉞)为界,其西为一组EW(或近EW)向断裂,往东至走向为NW向的宫古断裂带(断裂编号㉟)之间,断裂走向为NEE向;宫古断裂带东北,断裂走向则为NE向。

(1)区域性基底大断裂主要有陆架边缘隆起带西北缘边界断裂(断裂编号①)、陆架边缘隆起带东南缘边界断裂(断裂编号②)和南冲绳海槽东南缘断裂(断裂编号⑨、⑩)。它们两侧的重、磁

场面貌、特征异常组构截然不同,两侧的地壳结构、基底构造特征亦不同,属区域性基底大断裂.它们分别控制了陆架边缘隆起带、冲绳海槽和琉球岛弧的发育.后面拟作进一步阐述.

(2)其他二级和三级断裂主要分布在南冲绳海槽区域和陆架边缘隆起带上,尤其在海槽区非常发育.它们的规格均较小,一般延伸数十千米至上百千米.磁异常经上延 20 km(见图 2),它们的构造形迹一般趋于消失,可见它们的作用是有限的.它们的形成时代一般较晚,且仅局部区域性地控制基底构造运动.

2.2 NS(或近 NS)向、NNW 向和 NW 向断裂

该组断裂在区内发育和分布广泛,在重、磁异常图及其转换异常图上均有明显反映,其中许多断裂在磁异常向上延拓 20 km 之后,仍有明显显示,且往往延伸 100~200 km 或更长,可见其影响之深远.它们多属张扭性平移断层,以东北盘或东盘北移、西南盘或西盘南移滑动的左旋平移断层为主.它们对东海陆架边缘构造带和南冲绳海槽构造带的东西分块和差异性运动起明显的控制作用,其中最醒目的断裂为宫古断裂带(断裂编号⑩),它也是东海一条十分重要的 NW 向断裂.结合邻区资料^[5]发现,它向东南方向切割了琉球沟-弧系,向西北直抵东海陆架盆地西缘断裂,延伸达数百千米,是东海微板块“南北分块”的重要断裂之一.

根据重、磁场的区域分布特征、基底组成、盖层发育、构造运动、断裂分布和岩浆活动的区域性特点及其差异,拟将该研究区划分为东海陆架边缘隆起带、南冲绳海槽盆地和南琉球岛弧隆起带 3 大区域地质构造单元(见图 3),后面拟作进一步阐述.

3 磁性基底埋深分布与基底性质

根据地磁 ΔT 异常转换得到 ΔZ_{\perp} 异常(见图 1),在此基础上计算了研究区的磁性基底埋深值,其埋深分布状况如图 4 所示.磁性基底界面通常反映基底变质岩系或火成岩系顶面起

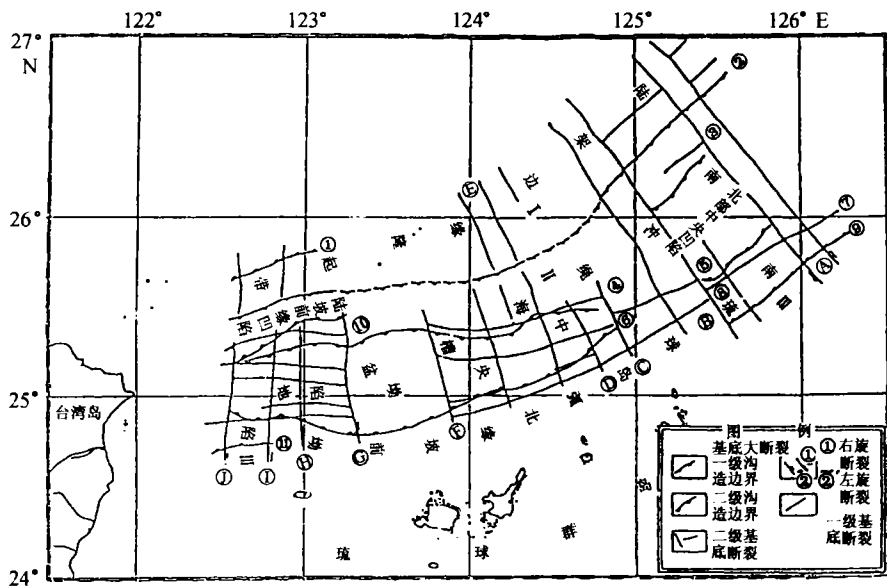


图 4 基底断裂分布及构造区划图

伏变化的状况. 计算磁性基底埋深时, 往往对异常采取适当的滤波处理, 以消除一些孤立的、局部的磁性体异常的影响, 但仍会有一些贯入基底或盖层, 以区域性磁场相差较大的“剩余”异常存在, 这样, 在一些区域, 特别是火成活动区, 这些残留下来的“基底内效应”仍会反映到磁性基底图上.

研究区磁性基底埋深分布具有明显的分区、分带的区域性特征. 各区带内的不同区块磁性基底分布又有一定的差异, 这种差异显然与上述的基底断裂的控制作用密切相关. 全区磁性基底埋深最深可达 9 km, 最浅处仅约 3 km. 磁性基底的起伏变化总体上展现为由西北向东南方向逐渐趋于加深的趋势.

3.1 东海陆架边缘隆起带

磁性基底埋深较浅, 一般为 3~4 km, 局部达 4.5 km; 该带向南冲绳海槽方向逐步趋于加深. 该带的钓鱼岛以西区域, 磁性基底埋深由北部的 3~4 km 向南部的冲绳海槽方向以梯阶带迅速趋于加深至约 9 km. 该带的中、北部区域磁性基底起伏变化相对平缓, 磁性基底埋深为 3.0~4.5 km.

该带的第三纪变形褶皱基底起伏较大, 波速为 3.6~4.4 km/s 的中新统厚度变化大(0~4 km)^[6]. 据该带地质、地球物理资料¹⁾, 该带基底由老第三系、中生界和古生界变质岩系组成. 磁异常特征表明, 该带是一个强烈的岩浆活动带, 因此, 磁性基底展现的应是前中新世变质岩系及不同时期形成的火成岩类所组成的磁性界面.

3.2 南冲绳海槽拗陷区

磁性基底埋藏相对较深, 一般为 5~7 km, 局部为 3~4 km, 为基底的小型凸起, 主要分布于海槽的西部、东部以及南部边缘, 还有一些 6~8 km 的基底凹陷, 主要分布在海槽的轴部和西部的一些区块. 总体而言, 海槽磁性基底较平坦.

该区内的局部基底凸起, 对照磁异常图, 与强磁异常相对应, 应是沿断裂贯入基底或盖层的中基性岩体的反映, 有些已喷出海底形成海山、海丘的火成岩体. 中新世特别晚中新世以来, 海槽的构造运动和岩浆作用均十分强烈^[3].

该区一些基底局部凹陷主要分布在东海陆架边缘隆起带与海槽的交接部位或海槽轴部. 对照磁异常图, 它们所对应的磁异常往往是变化较为宽缓的异常, 或经化极处理展现为较大范围的异常. 可见磁性基底的磁性较弱, 埋藏较深, 如钓鱼岛以西陆坡坡脚, 也获得了低值重力异常, 反映了低密度沉积较厚的特征.

据地震资料^[2,6], 南冲绳海槽的声波基底的地震波速度为 5.8~6.2 km/s, 接近玄武岩的速度, 其上为速度 4.6~4.9 及 2.0 km/s 的地层. 声波基底的深度(离水面)约有 5 km, 但声波基底之上的沉积物与其下伏基底之间缺失清晰的接触面^[1], 这可能为沉积物变质所致. 冲绳海槽平均热流密度高达 170 mW/m², 海槽南部更高^[7], 因此, 声波基底的变质作用显然与高温或与侵入基底和沉积层的岩浆岩体引起的接触变质作用有关.

据以上分析可认为海槽区的磁性基底大部分相当于声波基底(变质基底), 它们极可能为海槽张裂运动所产生的玄武岩层或部分变质岩系所组成. 基底时代为前中新世, 其上为中新世以来的沉积. 部分基底埋深较大的区域, 可能与基底分布有弱磁性的浅变质岩系或沉积层

1) 王桥先等. 东海陆架外缘隆起带地质构造特征演化及与东海陆架油气关系. 1990.

更厚有关.

南琉球岛坡区域,在地形和重力异常上均有显示的仅为测区的东南角和西南角.与低缓变化的磁异常相对应,磁性基底埋深为 4.6~6.0 km,但这里的水深小于 1 000 m,最浅处约为 200 m.由磁异常特征分析可知,西南角磁异常低值而变化平滑表明,水下岩体可能为弱磁性的浅变质岩或中酸性火成岩体.东南角区域,有一些低值而变化较缓的磁异常发育,结合邻区航磁资料^[8],其东南侧为在 0 nT 附近低、缓变化的负异常,其所处的构造位置在宫古凹陷之内,因此,磁性基底较深是可以理解的.至于对浅水岩体推测也可能为弱磁性的浅变质岩或中酸性火成岩体.

4 构造区划和地壳结构

如前所述,南冲绳海槽及其邻域的断裂构造十分发育,岩浆活动十分强烈,基底构造十分复杂,特别是冲绳海槽区,由于海槽的张裂运动,地幔物质上涌,构造运动更强烈.强烈的构造运动,使该区域地壳结构变得十分复杂,区域差异十分明显,分述如下.

4.1 东海陆架边缘隆起带(I)

该带为其西北缘大断裂(断裂编号①)及其东南边缘大断裂(断裂编号②)所夹的基底隆起带.受范围所限,在①号断裂仅探测到其西南段,结合邻区地球物理资料,推测它的中、东北段几近沿该区西北侧边缘通过.结合邻区资料^[9,10],该带北东端沿 NE-NNE 方向延向五岛列岛,西端则可延向台湾岛西北部棉花屿诸岛附近.由于受 NW 向大断裂吐噶喇断裂带和宫古凹陷断裂带的分割作用,各段的重、磁场特征有明显差异,故通常将其区分为三段^[2,9,10].本区所展现的为其西南段,这里仍称之为东海陆架边缘隆起带.

在本区,该带宽约为 20~50 km,北东宽、西窄.构造走向由西向东为近 EW→NEE→NE,呈弧形展布.重力异常亦展现为高重力异常带.据重力资料推算,该带地壳厚度为 24~28 km,为大陆型地壳.

据浮标声纳探测资料,该带的基底下部广泛分布着 5.6~6.8 km/s 的速度层.据台湾岛西部平原钻井揭示¹⁾,中新统之下的白垩系变质岩速度为 5.6~5.8 km/s.琉球岛弧及台湾岛均分布有晚古生界和中生界岩石^[11~13].因此,推测该隆起带基底下部可能由中生界和古生界及高密度、高速度的火成岩系组成,其上为厚达 1~4 km 的基底中部层,其速度为 4.8~5.4 km/s,该层可能属前第三纪岩石及火成岩系.其上为速度 3.4~4.4 km/s 的层,应与老第三系和部分早中新世沉积相当,该层在边缘隆起带的一些区段缺失.其上为速度 2.0~3.4 km/s 层,为晚中新世及第四纪沉积,厚度为 1~3 km.我们的资料表明,全新世以来的地层扰动较为强烈(见图 5).不难看出,该带基底属前老第三纪发育的基底隆起带.该带中生代以来的构造运动活跃,NE 向和 NW 向断列作用强烈,与之相伴发生的岩浆作用长期而剧烈,有各个时期的岩浆侵入和喷发活动,从而形成东海地区醒目的岩浆活动带.根据重、磁场分布特征分析,该带大致以宫古断裂带和仲神断裂为界分为西、中、东北 3 段,它们之间的基底构成有一定差异,特别是岩浆作用特点有较明显的差异.

4.2 南冲绳海槽盆地(II)

由于同样受 NW 向大断裂吐噶喇断裂带和宫古凹陷断裂带的分割作用,与琉球沟-弧系和东海陆架边缘隆起带一起,冲绳海槽也被其分割成北、中、南 3 段,它们之间在地球物理特



图5 穿越东海陆架(a)和南冲绳海槽(b)单道地震剖面

征、构造活动性等均存在明显差异。本研究区基本涵盖了冲绳海槽的南段,这里称之为南冲绳海槽盆地。

南冲绳海槽盆地西北侧以东海陆架东南边缘大断裂为界,与陆架边缘隆起带相邻;南侧以冲绳海槽东南缘大断裂(断裂编号⑨、⑩)为界,将其与南琉球岛弧分隔开,因受范围所限,该断裂未能得到充分反映。

南冲绳海槽盆地构造走向,基本上与陆架边缘隆起带及南琉球岛弧相平行,由西向东为EW-NEE-NE向,呈弧形展布。该盆地约宽80~110 km,西部略窄。

南冲绳海槽盆地布格重力异常值极高,达 $80 \times 10^{-5} \sim 160 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,最高值在海槽的中轴部,达 $200 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。据重力资料推算,该盆地莫霍面埋深仅约15~20 km,最浅处在海槽轴部,不足15 km,与地震折射地壳测深资料相近。由此可见,由于海槽中央地堑张裂,地幔物质上涌,使该盆地上地幔普遍抬升,同时标志着海槽为亚大洋型地壳。

结合地震反射和折射资料^[2],已基本能描绘出该盆地的地壳结构。最上部的低速层(1.7~3.2 km/s)约厚1.3 km,为第四纪上新世或晚中新世沉积。我们的单道地震资料表明,该层除在海槽中心、西部区域和宫古凹陷区域受正断层作用地层被扰动外,其他地方大部分分层很好,受扰动少(图5)。其下由不整合面分开,为倾斜断块的褶皱(层中速度为4.9 km/s),约厚2.1 km,为中新世地层。其下层速度为4.8 km/s,约厚3.2 km, Lee等^[2]推测该层为相对年轻的玄武岩层。该层之下为厚达7 km的“主地壳层”,其平均速度为6.5 km/s,推测与辉长岩相关^[14]。上述结果表明,中新世以来的沉积厚度约为3.4 km,其下可能分布有前中新统和不同年龄的火成岩系组成的声波基底。在南冲绳海槽盆地一个海山处拖到了前第三纪的砂岩。

该盆地中新世以来张裂运动强烈,沿海槽轴方向形成一系列高角度正断层,以及NW、NS向张扭性断层。与此相伴随产生了广泛而强烈的中酸性、中基性岩浆侵入和喷发,在海底形成一些海山。

据磁异常分析,南冲绳海槽盆地主要有两个磁性层:其一为前中新世变质岩系和火成岩系组成的基底磁性层,其二为穿刺入浅层地层或喷出海底形成海底山的火成岩所组成的浅层磁性层。盆地区磁性基底埋深一般为5~7 km,最深为8~9 km,海槽轴部为5~6 km,局部为6

~7 km, 基本相当于声波基底埋深, 局部则可能包含了部分前中新世的浅变质岩系。

根据重、磁场分布特征和磁性基底分布特征差异, 在南冲绳海槽盆地区又可划分出 4 个次一级构造, 简述如下:

(1) 陆架前缘凹陷位于海槽西部北侧的陆架前缘, 该凹陷基底埋深达 8~9 km, 推测基底之上除中新世和上新世以来的固结或半固结及未固结的沉积之外, 可能还含有部分前第三系甚至更老的固结或浅变质岩系。

(2) 南冲绳海槽中央坳陷位于海槽的轴部区域, 约宽 30~60 km, 基底埋深为 4.5~6.5 km. 我们的地震资料表明, 沿坳陷的中轴部断裂十分发育, 且多为正断层, 倾向为 NW 和 SE 两组, 形成一宽近 15 km 的地堑. 轴部第四系厚度可达 1 400 m. 局部发现由火成岩体引起的强反射. 因此可认为, 在该区域可能发生了最新时期(0.4×10^6 a 以来)的张裂运动及其引发的岩浆活动。

(3) 北部中央凹陷位于海槽北部的宫古凹陷内, 约宽 40 km, 往南延伸, 受阻于宫古断裂带. 其基底埋深为 4.5~5.5 km. 凹陷内岩浆活动相对微弱, 但浅层的晚中新世以来的地层受到较强烈的扰动。

(4) 南琉球岛弧坡前凹陷位于南冲绳海槽东南侧, 为南琉球岛弧坡前的凹陷. 该凹陷沿岛弧坡前延伸, 贯通东西. 基底埋深为 3.4~4.5 km. 凹陷内岩浆活动相对强烈。

4.3 南琉球岛弧隆起带(III)

测区仅涉及岛坡的局部区域. 据地震资料^[3], 波速 3.67~4.59 km/s 的中新统(八重山群)以及更老的岩石(4.72~6.71 km/s)常组成岛坡的主体, 直接出露于海底, 因涉及区域小, 故不拟作进一步阐述。

5 结论

5.1 南冲绳海槽及其邻域的基底断裂构造十分发育. EW、NEE 和 NE 向基底大断裂宏观上构成和控制该区域地质构造的基本格架. NS、NNW 和 NW 向断裂多为张扭性平移断裂, 它们对基本构造格架起了强烈的分割、破坏和错断作用, 形成和控制次一级区域的差异性构造运动和岩浆活动特征, 其中的宫古断裂带和仲神断裂对各主构造带基底的分割作用最明显。

5.2 东海陆架边缘磁性基底埋深一般为 3~4 km. 基底由前中新世变质岩系和火成岩类组成, 为一基底隆起带和强烈岩浆活动带. 地壳厚度为 24~28 km, 为大陆型地壳。

5.3 南冲绳海槽盆地磁性基底埋深一般为 5~7 km, 可划分出 4 个次一级盆地. 基底极可能由前中新世以来海槽张裂运动所形成的玄武岩层或部分变质岩系组成, 靠近陆架坡脚处, 可能包含前第三纪的老地层. 盆地为一基底坳陷带和岩浆强烈活动区. 地壳厚度为 15~20 km, 属亚大洋型过渡性地壳。

参考文献

- 1 Herman B M, Anderson R N, Truchan M. Extensional tectonics in the Okinawa Trough. AAPG Memoir, 1978, 29, 199~208
- 2 Lee C S, Jr Shor G G, Bibe L D *et al.* Okinawa Trough: origin of back-arc basin. Marine Geology, 1981, 35(1~3):219~241
- 3 金翔龙, 喻普之. 冲绳海槽的构造特征与演化. 中国科学(B), 1987, (2): 196~203

- 4 Kimura M. Active rift system in the Okinawa Trough and its northeastern continuation. Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Part 2, 3, 1992, 45(389): 27~38
- 5 Lin Changsong, Gao Jingyao. North-south segmentation and horizontal movement of the East China Sea micro-plate. 30th International Geological Congress Abstracts, Beijing, 1996, Vol. 2 of 3, 4-2-18 02909 2141.
- 6 Leyden R, Ewing M, Murauchi S. Sonobuoy refraction measurements in East China Sea. Bull. AAPG, 1973, 57(12): 2 396~2 403
- 7 喻普之,李乃胜. 东海地壳热流. 北京:海洋出版社,1992
- 8 太雄茂雄. 南西诸岛西方海域における空中磁気探査. 地质ニエス,400号,1987
- 9 Lin Changsong, Guan Zhining, Wu Zhaojun. Study on the magnetic basement and geological structure of the East China Sea. Acta Oceanologica Sinica, 1987, 6 (Supp. II), 262~272
- 10 林长松,管志宁,吴朝钧. 东海磁源重力异常、重力异常的对比和深部地质构造研究. 海洋学报,1992,14(5): 75~85
- 11 Konishi K. Pre-Miocene basement complex of Okinawa and the tectonic belts of the Ryukyu Islands. Sci. Rep. Kanazawa Univ., 1962, 8, 569~602
- 12 阿春芬. 台湾地质概论. 台湾地质调查所,1975
- 13 金翔龙. 东海海洋地质. 北京:海洋出版社,1992,290~330
- 14 Kimura M. Back-arc rifting in the Okinawa Trough. Marine and Petroleum Geology, 1985, 2, 222~240
- 15 林长松. 南冲绳海槽及其邻域的基底断裂构造. 海洋学报,1999,21(1):61~70

The magnetic basement and geological structure of the southern Okinawa Trough and its vicinity

Lin Changsong,¹ Wang Songcai,¹ Wang Ying¹

1. *Second Institute Oceanography of State Oceanic Administration, Key Laboratory of Submarine Geoscience of State Oceanic Administration, Hangzhou 310012*

Abstract— Fault structures of basement in the study area develop well. The large basement faults in EW, NEE and NE directions construct and control the principle frame of the regional geological structure on a grand scale. The faults in NS, NNW and NW directions are mostly tensile translational faults, which strongly cut apart, destroy and break the principle structure, form and control secondary differential regional tectonic movement and magmatism characteristics.

The burial depth of magnetic basement in the edge rise zone of the East China Sea shelf is ordinarily 3~4 km. The basement comprises Pre-Miocene metamorphic rock and series of igneous rocks formed in different epoches. The crust belongs to continental crust, whose thickness is 24~28 km.

The burial depth of magnetic basement in the southern Okinawa Trough basin is ordinarily 5~7 km. The basin can be divided into 4 secondary basins. The basement may mostly comprise basalt or part-metamorphic rock formed by trough tensile movement since Pre-Miocene, which may include old Pre-Tertiary stratigraphy close to continental slope foot. The crust belongs to suboceanic crust, whose thickness is 15~20 km.

Key words Basement fault, magnetic basement, crust structure