台湾海峡及邻区地球物理特征及地壳密度结构

张季生,高锐,李秋生,管烨,贺日政,祝尉洪
中国地质科学院地质研究所,北京, 100037

内容提要:本文对台湾海峡及邻区的岩石物理性质和重力、磁力异常进行了分析研究。在此基础上,利用地震资料进行约束,对过台湾岛中部和南部恒春半岛的两条重力剖面进行了定量计算,并对建立的地壳密度结构进行了分析。研究表明,在台湾岛中部,欧亚大陆板块与菲律宾海板块碰撞,导致地壳增厚的模型更为符合迄今为止的地球物理探测结果。而台湾岛南部的地壳密度结构揭示了,属于欧亚大陆的南海板块向菲律宾海板块下俯冲的地壳密度分布。

关键词:台湾海峡;重力异常;磁异常;地壳密度结构

台湾海峡处于全球构造的特殊部位,台湾岛是全球最活跃的大陆板块与大洋板块碰撞形成的造山带,属西太平洋岛弧系的一环,向西凸出。在台湾岛东部,菲律宾海板块沿琉球海沟向北俯冲到欧亚板块之下,而在台湾南部,欧亚板块沿马尼拉海沟(槽)俯冲到菲律宾海板块之下。

前人对于欧亚大陆板块向菲律宾海板块俯冲/碰撞存在不同的看法,在台湾南部,前人(Wu et al., 1997;Wang et al.,2006)一致认为属于欧亚大陆的南海板块沿马尼拉海沟向菲律宾海板块下俯冲。但是在台湾岛中部,Wang 等(2006)提出欧亚大陆板块仍向菲律宾海板块俯冲,深达 300km。而 Wu 等(1997)提出台湾岛中部,欧亚大陆板块与菲律宾海板块碰撞,导致地壳增厚。

地震层析成像和深地震测深的结果(Rau et al.,1995;Wu et al., 1997; Shih et al.,1998)表明:在台湾岛中部,碰撞增厚模型更为符合迄今为止的地球物理探测结果。笔者等利用台湾岛中部和南部恒春半岛两条布格重力异常剖面数据,计算了台湾岛中部和南部的二维地壳密度结构,研究表明:台湾岛中部地壳增厚,但是与地形不存在镜像的关系,台湾岛中央山脉西部丘陵地带的地壳厚度最大,而不是在台湾中央山脉。中央山脉对应密度边界附近,这可能与菲律宾海板块与台湾岛相互作用有关。穿过恒春半岛的地壳密度结构展示了南海板块向菲律宾海板块下俯冲的地下密度分布。

研究区位于东经 116°~125°,北纬 18°~28°,以台湾海峡为中心地带的区域。包括大陆的沿海地区、台湾海峡、台湾岛和台东部分海域(图 1)。

1 地球物理特征

1.1 岩石地球物理特征

研究各类地质体的物性参数是开展地球物理工作的前提,对于深部地质构造研究,没有比较系统的岩石物性参数研究就不可能得到较为合理的地质解释。由于在台湾海峡的岩石物理性质研究成果较少,本文除了利用前人在台湾岛的岩石物理性质的研究成果外,还利用了东海陆架盆地和南海北部沿海陆地及岛屿岩石密度、磁性的研究成果,以及高温高压下岩石物理性质的研究成果。

1.1.1 岩石磁性特征

高德章等(1995)在东海陆架盆地 20 口钻井中采集了岩芯标本,进行了密度和磁性测定并对 17 口钻井密度测井资料进行了分析研究。研究结果表明,岩石磁性特征为 N_1— K_2(?)沉积岩为无磁性至微弱磁性;凝灰岩类仅具微弱磁性;花岗岩类一般磁化率值不超过 $100\times4\pi\times10^{-6}$SI,为弱磁性,只有在一口井的岩芯磁化率值为 $1100\times4\pi\times10^{-6}$SI。花岗岩类岩石的剩余磁化强度弱,只有 $20\times60\times10^{-3}$ A/m;安山岩类磁性极不均匀,微弱磁性至中等磁性均有。安山岩类岩石的剩余磁化强度与感应磁化强度具相同数量级。玄武岩类具中强磁性,其磁化

注:本文为中国地质调查局地质调查工作项目(编号 1212010611809)和科技部国际合作重点项目(编号 2006DFA21340)的成果。
收稿日期:2007-11-27;改回日期:2008-07-02;责任编辑:章雨旭。
作者简介:张季生,男,1950 年生。研究员。长期从事重、磁异常处理与解释。Email:zhang_jisheng@sina.com。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

率为 $1200\times4\pi\times10^{-6}$ SI。，剩余磁化强度为 2200×10^{-3} A/m。

李唐根等(1987)在南海北部沿海陆地及岛屿的钻井和露头区，系统地采集了各时代的沉积岩、火成岩、变质岩的标本近 7000 块，测定了岩石标本的密度值，同时对 400 多个露头进行了磁化率测定。他们对南海北部沿海陆地及岛屿的钻井和露头区的岩石磁性研究表明，绝大部分各时代的沉积岩为无磁性(磁化率$<100\times4\pi\times10^{-6}$ SI)，只在北尖岛上的变质砂岩有磁性，但不均匀，磁化率为 $0\sim300\times4\pi\times10^{-6}$ SI，70%都小于 $50\times4\pi\times10^{-6}$ SI。花岗岩类的磁性变化范围较大，磁化率为 $0\sim2400\times4\pi\times10^{-6}$ SI，但是约 2/3 为无磁性和弱磁性。新生代的火成岩具有一定磁性，在珠江口盆地珠 2 井辉绿岩其磁化率为 $350\sim1500\times4\pi\times10^{-6}$ SI。

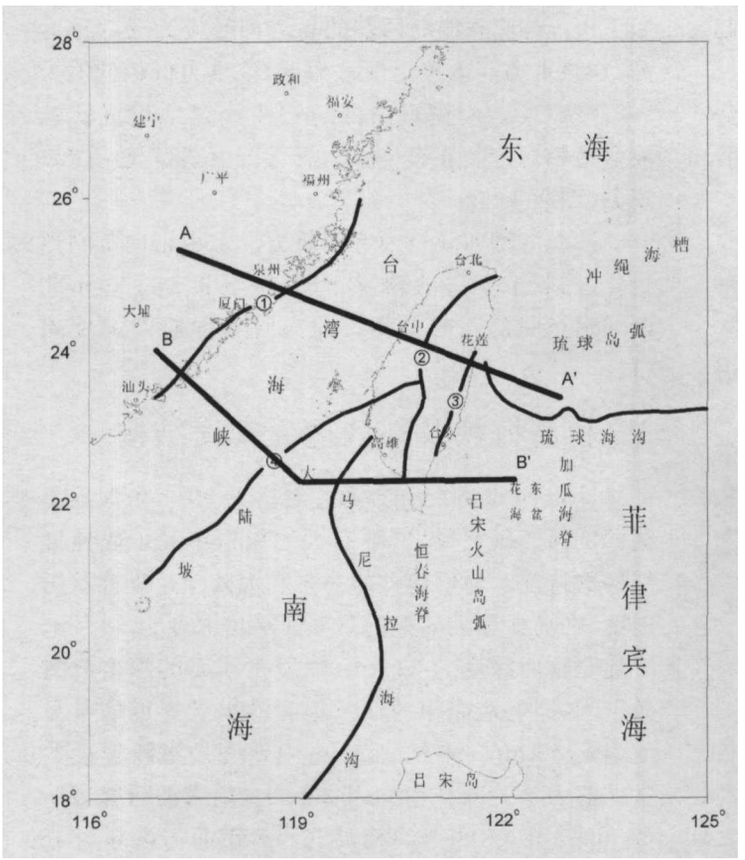


图 1 台湾海峡及邻区构造略图(根据高天均等，1984；杨肖琪等，1996；福建省地质矿产局，1992。以及重、磁解释结果综合编制而成)

Fig. 1 Tectonic sketch map of Taiwan strait and neighboring area (after the results Gao et al., 1984; Yang et al., 1996; Bureau of Geology and Mineral resources of Fujian Province, 1992; and interpretation of gravity and magnetic in this paper)

图中带数字标号的粗黑线表示断裂带：①—闽粤沿海断裂带；②—屈尺—潮州断裂带；③—台湾纵谷断裂带；④—义竹—东沙群岛断裂带。A—A′和 B—B′为重力剖面的位置 Thick black lines representing faults with number: ①— Fujian—Guangdong coastal fault; ②— Quchi—Chaozhou fault; ③—Taiwan Zhonggu fault; ④—Yizhu—Dongsha islands fault. A—A′ and B—B′ profiles' position of Bouguer gravity anomaly with characters

从上面岩石磁性特征可以看出，在台湾海峡及周围地区能引起磁异常的岩石为火成岩。花岗岩类岩石引起弱至中等强度磁异常，玄武岩类引起中强磁异常，安山岩类则引起变化剧烈的磁异常。

1.1.2 岩石密度特征

东海陆架盆地岩石密度研究成果表明(高德章等，1995)，沉积岩类密度最小，其中砂岩密度仅为 2.40 g/cm³左右，泥岩密度则可达 2.40 g/cm³左右；中酸性火成岩密度比沉积岩类密度大 0.05～0.25 g/cm³，可达 2.65 g/cm³；变质岩密度为 2.80 g/cm³，比中酸性火成岩密度大 0.15 g/cm³；玄武岩密度最大，可达 2.82 g/cm³，与变质岩之间存在 0.02 g/cm³密度差。

南海北部珠江口外岛屿岩石露头区的岩石密度研究结果表明(李唐根等，1987)，侏罗纪岩层的密度为 2.70 g/cm³，泥盆纪岩层的密度为 2.64 g/cm³，志留纪和奥陶纪岩层的密度相同，均为 2.74 g/cm³。

在不同岛屿露头测得燕山中期岩石标本的密度分别为 2.68 g/cm³、2.71 g/cm³和 2.76 g/cm³。燕山晚期岩石标本的密度为 2.69g/cm³。需要说明的是，无论是沉积岩还是火成岩，珠江口外岛屿岩石密度值都比陆地的偏大。

Yen 等(1998)对台湾岛的岩石密度研究表明，近代的沉积密度为 2.0 g/cm³，第四纪沉积密度为 2.25 g/cm³，古近纪—新近纪沉积岩密度为 2.35～2.45 g/cm³，古生代沉积岩密度为 2.50 g/cm³，花岗岩层(包括变质)密度为 2.60 g/cm³，洋壳密度为 2.70 g/cm³，玄武岩密度为 2.90 g/cm³，上地幔的密度 3.20～3.22 g/cm³。

综合前人岩石密度的研究成果，我们可定性地知道台湾海峡及周围地区随年代变老，岩石密度值增大，以及火成岩的密度值的范围。

1.2 地球物理场特征

为了讨论问题方便，我们将研究区分为四个区分别进行研究。

1.2.1 台湾岛重力异常特征

研究区布格重力异常总的分布特征(图版Ⅰ-a)为，重力异常值从西北的负值，向东南(及南)逐渐增加为正值。位于研究区中部的台湾

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

岛重力异常为一近北北东向的纺锤状的负异常。与其他老的山脉对应的重力低不同，台湾岛中央山脉对应的是重力场急剧变化的重力梯度带。

1.2.2 台湾海峡异常区

台湾海峡异常区在地理位置上包括台湾海峡和珠江口盆地，但是二者的地球物理场的特征相似，因此我们将它们合并在一起讨论。台湾海峡异常区布格重力异常北高南低，重力异常值向南有逐渐降低的趋势(见图版Ⅰ-a)。在台湾海峡存在数个局部重力高异常，它们有北东走向趋势。一般局部重力高比区域重力场高 10 mGal 左右。在澎湖列岛附近出现的局部重力高比区域重力场高达 20 mGal，而在南部珠江口盆地出现的重力低，它们有北东走向趋势，局部重力低异常比区域重力场低 30～40 mGal。

自由空间重力异常在台湾海峡有北东走向趋势(图版Ⅰ-b)，局部重力异常在澎湖岛达 40 mGal。在台南盆地局部重力异常超过 60 mGal。

由东沙群岛至义竹附近，沿大陆坡分布一条北东向的强磁异常，异常长度约为 600 km，宽度为 50 km 左右(图版Ⅱ-a)。局部磁异常强度超过 300 nT，在正异常北侧伴生有较强的负异常带，表明引起磁异常的磁性体具有有限延深的特征。在布格重力异常图上，该磁异常带沿南海东北角重力梯度带的西北侧展布。由前面岩石物理性质分析可知，该磁异常可能由中基性火成岩引起，因此我们推测为大陆架边缘一条裂开的断裂带。我们称之为义竹—东沙群岛断裂带。

1.2.3 吕宋岛弧异常区

台湾海峡及邻区自由空间重力异常图显示(图版Ⅰ-b)，沿台湾—菲律宾岛弧的西侧，南部相当长一段的岛弧是向海沟方向凸起的。在台湾与吕宋岛之间恰恰相反，马尼拉海沟向吕宋弧方向凸起。大约沿北纬 20°30′一线，南北两侧磁异常特征明显不同(见图版Ⅱ-a)，北部为负异常，南部为较宽的、强正磁异常。这可能与南海板块向吕宋岛弧下俯冲有关。

台湾海峡及邻区自由空间重力异常图清楚地显示(见图版Ⅰ-b)，与吕宋火山岛弧相关的正异常向北一直延伸到最北端的位置大致为北纬 23.5°。在吕宋火山岛弧以西，局部重力低对应北吕宋海槽；北吕宋海槽以西，自由空间重力高则与恒春海脊相对应。在吕宋岛为重力高，异常值 40～160 mGal 之间变化。在东经 121.5°以东，北纬 22°～23.5°之间的近南北向负重力异常可能与菲律宾海板块沿琉球海沟向北俯冲时，与台湾岛的斜向相互作用有关。

1.2.4 琉球俯冲带异常区(在研究区内为琉球俯冲带的西南部分)

台湾海峡及邻区磁异常图(图版Ⅱ-a)显示，在东经 123.5°以西，琉球岛弧为负磁异常，表示低的磁化强度。而在东经 123.5°以东，磁异常为北东—南西向。在正磁异常的两侧为负异常，显示磁性体为有限延伸。这一现象说明在东经 123.5°以西，在琉球岛弧下面，存在的磁性体是很少的。或许可以认为在东经 123.5°以西，现今岛弧的火山作用微弱。在东经 123.5°以东，则广泛分布有火山链。

台湾海峡及邻区自由空间重力异常图显示(图版Ⅰ-b)，与琉球群岛西端的岛屿相对应为局部重力高，在该重力高南侧出现重力低，该重力低最低值为 −220 mGal。南侧重力低与数个小盆地组成的弧前盆地相对应。在布格重力异常图也清楚显示这一现象(图版Ⅰ-a)。

冲绳海槽西端自由空间重力异常由正向负剧烈变化(图版Ⅰ-b)。在磁异常图(图版Ⅱ-a)上显示北西—南东向的正磁异常。前人解释为断裂的反映(Hsu et al.，1998)。

2 台湾海峡及邻区地壳密度结构

Holbrook 等(1992)通过对世界 90 多条深地震测深剖面的研究，提出不同大地构造单元地壳速度结构的特征。他们建立的岛弧和大陆架速度柱状图表明，在岛弧和大陆架的莫霍面平均深度为 38 km，下地壳顶面深度为 22 km，中地壳顶面的深度只有数千米，即上地壳很薄。下地壳的纵波速度的常见值为 6.8 km/s 和 7.0 km/s；中地壳的纵波速度的常见值为 6.1 km/s 和 6.5 km/s。前人的研究表明(Shih et al.，1998)，台湾岛北部莫霍面的深部达 46 km。台湾岛中部(Rau et al.，1995；Wu et al.，1997)莫霍面的深部达 50 多千米；台湾岛南部恒春半岛附近莫霍面的深部不到 30 km。即台湾岛中—北部的莫霍面较深，超过世界的岛弧和大陆架的莫霍面平均深度。台湾岛南部恒春半岛位于南海板块向菲律宾海板块俯冲带增生楔地带，莫霍面由西向东逐渐加深。恒春半岛莫霍面比世界的岛弧和大陆架的莫霍面平均深度要浅。菲律宾海板块西侧边缘，其西部地壳较厚，往东逐渐减薄，莫霍面的深度由 20 多千米逐渐减小至十多千米。

前人对于欧亚大陆板块向菲律宾海板块俯冲/碰撞存在不同的看法，在台湾南部属于欧亚大陆的

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

南海板块沿马尼拉海沟向菲律宾海板块的吕宋岛弧下俯冲,大家的看法一致(Wu et al., 1997;Wang et al.,2006)。但是在台湾岛中部,Wang 等(2006)提出欧亚大陆板块仍向菲律宾海板块俯冲,深达 300 km。而 Wu 则认为台湾岛中部是欧亚大陆板块向菲律宾海板块碰撞增厚模型。

过台湾岛中南部地震剖面结果(Wu et al., 1997)表明,大约在北纬 23.7°以南,向东倾斜的俯冲带被十分明显显示。而在北纬 23.7°以北,则看不到俯冲带的影像。过台湾岛中南部地震层析成像的剖面结果显示(Rau et al., 1995; Wu et al., 1997),在剖面西部的中央山脉下,地壳是增厚的,增厚的低速物质(<7.5 km/s)伸展到 75 km。在剖面的东部,在深度 25 km 直至 50 km 为速度达 8.5 km/s 的高速物质,它们与西部低速物质直接接触。这个高速物质被解释为菲律宾海岩石圈的一部分。因此笔者等认为在台湾岛中部碰撞增厚模型更为符合迄今为止的地球物理探测结果。

高温高压条件下岩石密度的研究表明(Holbrook et al.,1992):在岛弧和大陆架大地构造单元,在下地壳,斜长岩的纵波速度值为 6.81(7.03)±0.31 km/s,密度值为 2.80±0.1 g/cm^3;铁镁质麻粒岩的纵波速度值为 6.86(7.13)±0.27 km/s,密度值为 3.03±0.17 g/cm^3。在中地壳,花岗闪长岩的纵波速度值为 6.08(6.26)±0.35 km/s,密度值为 2.69±0.07 g/cm^3;长英质角闪岩相麻粒岩的纵波速度值为 6.18(6.27)±0.17 km/s,密度值为 2.73±0.07 g/cm^3。

用地震资料作为约束(Rau et al.,1995;Wu et al., 1997; Shih et al., 1998; Nakamura et al., 1998;Chen et al.,1998)利用台湾岛中部和南部恒春半岛两条布格重力异常剖面数据,计算了台湾岛中部和南部的二维地壳密度结构(重力剖面位置见图 1)。重力计算采用的密度初值为:近代的沉积密度为 2.0 g/cm^3,第四纪沉积的密度为 2.20～2.25 g/cm^3,新近纪至古生代沉积岩的密度为 2.40 ±2.61 g/cm^3,中地壳的密度为 2.77 ±2.82 g/cm^3,下地壳的密度为 2.90±2.98 g/cm^3,上地幔的密度 3.20 ～3.21 g/cm^3。通过调整密度体的密度值和形状,以计算观测重力异常与观测重力异常拟和最佳的密度结构为计算结果。

过台湾中部的 A—A'重力剖面计算结果(图版Ⅱ-b)显示,在福建大陆的莫霍面深度为 27～28 km,向东莫霍面逐渐变浅,在台湾海峡义竹断裂带附近莫霍面最浅,深度只有 26 km。在台湾岛下方莫霍面向下凹,深度为 50 多千米,中、下地壳明显增厚,密度变小。台湾岛下方地壳增厚,但是与地形不存在镜像的关系,台湾岛中央山脉西部丘陵地带的地壳厚度最大,而不是在台湾中央山脉。中央山脉对应密度边界附近,这可能与菲律宾海板块与台湾岛相互作用有关。

穿过恒春半岛的 B—B'重力剖面计算结果展示了南海板块向菲律宾海板块下俯冲的地下密度分布(图版Ⅱ-c)。在福建大陆的莫霍面深度为 27 km,向东莫霍面逐渐变浅,在剖面的中部(义竹断裂带以东),莫霍面深度最浅为 18 km。从剖面的中部向东,莫霍面深度逐渐增加,在恒春半岛下方莫霍面深度超过 30 km。陆弧碰撞形成的增生楔在恒春半岛达到最大厚度。计算表明增生楔由一些密度变化较大的形状不规则的密度体组成,说明增生楔岩性变化较大。在恒春半岛东侧莫霍面深度为 16 km,在剖面东部属于菲律宾海板块,莫霍面深度为 11 km,洋壳厚度为 6 km。

3　结论

(1)研究结果表明:在台湾岛中部,欧亚大陆板块与菲律宾海板块碰撞,导致地壳增厚的模型更为符合迄今为止的地球物理探测结果。

(2)台湾岛中部地壳增厚,但是与地形不存在大致镜像的关系,台湾岛中央山脉西部丘陵地带的地壳厚度最大,而不是在台湾中央山脉。中央山脉对应密度边界附近,这可能与菲律宾海板块与台湾岛相互作用有关。

(3)在台湾岛南部,穿过恒春半岛的地壳密度结构展示了南海板块向菲律宾海板块下俯冲的地下密度分布。增生楔由一些密度变化较大的形状不规则的密度体组成,说明增生楔岩性变化较大。

谢语:文稿承蒙台北中央大學地球物理研究所颜宏元教授审阅,并提出宝贵修改意见,特致谢忱。

参　考　文　献　/　References

高德章. 1995. 东海陆架盆地岩石密度与磁性. 上海地质,(2): 38～45.

高天均,黄辉. 1984. 台湾海峡地质构造特征及演化. 地质学报, 68(3):197～206.

福建省地质矿产局. 1992. 台湾省区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部,地质专报,一、区域地质,第 28 号. 北京:地质出版社.

李唐根. 1987. 南海北部沿海陆地及岛屿岩石密度、磁性的测定和研究. 海洋地质与第四纪地质,7(3): 57～69.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

杨肖琪,宋文隆,陈承亮. 1996. 台湾海峡地质构造特征. 台湾海峡, 15(2): 127～136.

Chen A T, Nakamura Y. 1998. Velocity structure beneath eastern offshore of southern Taiwan based on OBS data and its tectonic significance. Terrestrail Atmospheric and Oceanic Sciences, 9 (3): 409 ～424.

Holbrook W H, Mooney W D, Christensen N I. 1992. The seismic velocity structure of the deep continental crust, Continental lower crust, Eds. Fountion DM, Arcykys R, Kay R W. Developments in Geotectonics 23, 1992. 1～43.

Hsu Shu-Kun, Liu Char-Shine, Shyu Chuen-Tien, Liu Shao-Yung, Sibuet Jean-Claude, Lallemand Serge, Wang Cheng-sung, Reed Donald. 1998. Terrestrail Atmospheric and Oceanic Sciences, 9 (3): 509 ～532.

Nakamura Y, Mcintosh K, Chen A T. 1998. Preliminary results of a large offset seismic survey west of Hengchun Peninsula, southern Taiwan. Terrestrail Atmospheric and Oceanic Sciences, 9(3): 395 ～408.

Rau Ruey-Juin, Wu Francis T. 1995. Tomographic imaging of lithospheric structures under Taiwan. Earth and Planetary Science Letters,133: 517 ～ 532.

Shih R C, Lin C H, Lai H L, Yeh Y H, Huang B S, Yen H Y. 1998. Preliminary crustal structures across central Taiwan from modeling of the onshore—offshore wide-angle seismic data. Terrestrail Atmospheric and Oceanic Sciences, 9(3): 317 ～ 328.

Wang Zhi, Zhao Dapeng, Wang Jian, Kao Honn. 2006. Tomographic evidence for the Eurasian lithosphere subducting beneath south Taiwan. Geophysical Research Letters, 33: L18306.

Wu Francis T, Rau Ruey-Juin, Salzberg David. 1997. Taiwan orogeny: thin-skinned or lithospheric collision? Tectonophysics, 274: 191 ～220.

Yen Horng-Yuan, Yeh Yih-Hsiung, Wu Francis T. 1998. Two-dimensional crustal structures of Taiwan from gravity data. Tectonics, 17(1): 104 ～111.

图 版 说 明 / Explanation of Plates

图版 Ⅰ / Plate Ⅰ

a. 台湾海峡及邻区布格重力异常图。

b. 台湾海峡及邻区自由空间重力异常图。

a. Bouguer gravity anomaly in Taiwan strait and neighboring area.

b. Free-air gravity anomaly in Taiwan strait and neighboring area.

图版Ⅱ / Plate Ⅱ

a. 台湾海峡及邻区磁异常图。

b. 台湾海峡及邻区重力 A—A′剖面计算结果。

c. 台湾海峡及邻区重力 B—B′剖面计算结果。

图中粗红线表示断裂带。

a. Magnetic anomaly in Taiwan strait and neighboring area.

b. 6 The result calculated from profile A—A′ of Bouguer gravity anomaly in Taiwan strait and neighboring area.

c. The result calculated from profile B—B′ of Bouguer gravity anomaly in Taiwan strait and neighboring area.

Thick red lines representing faults.

Geophysical Characteristic and Density Structure of Crust in Taiwan Strait and Neighboring Area

ZHANG Jisheng, GAO Rui, LI Qiusheng, GUAN Ye, HE Rizheng, ZHU Heihong

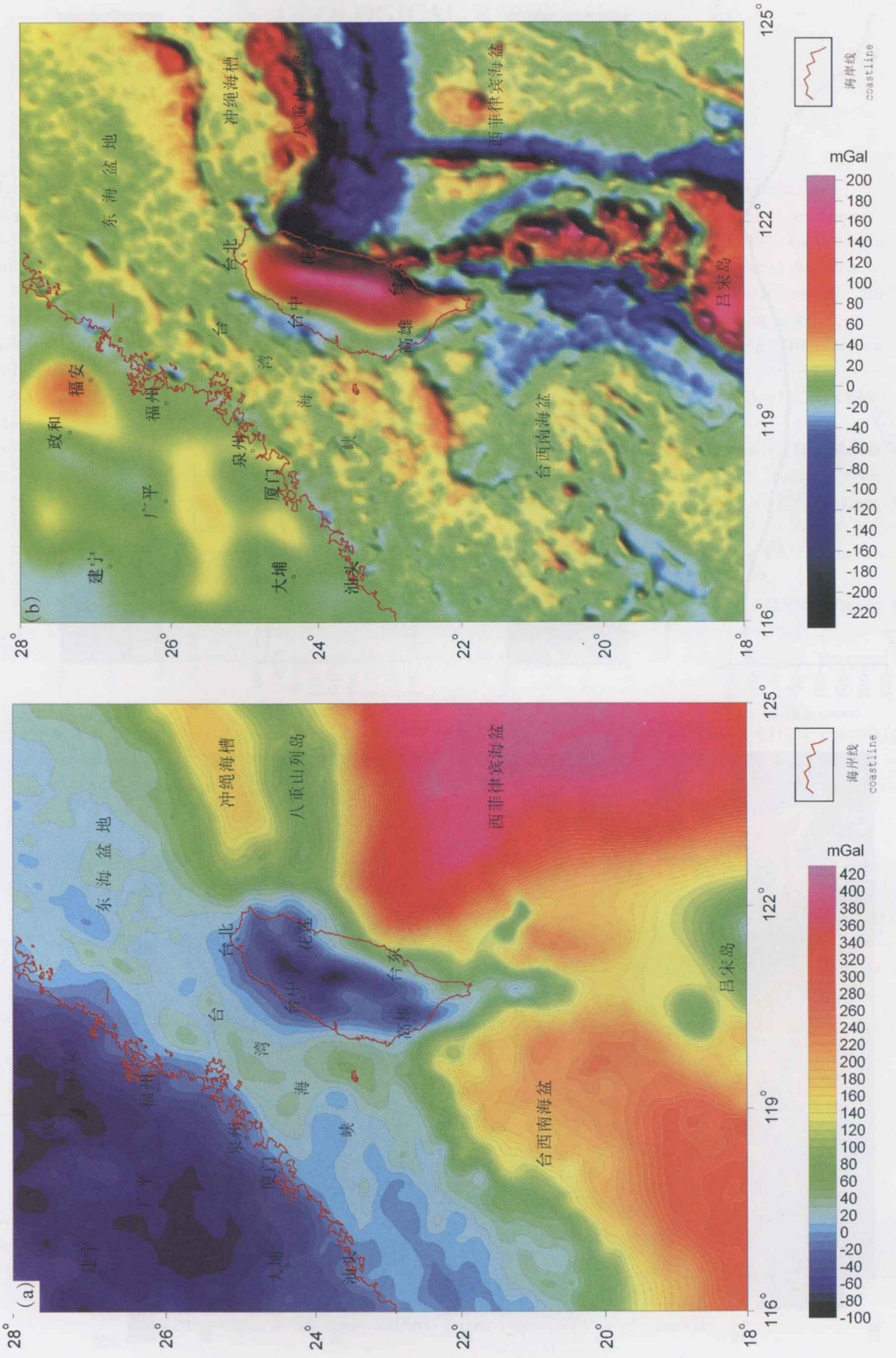
Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

Abstract

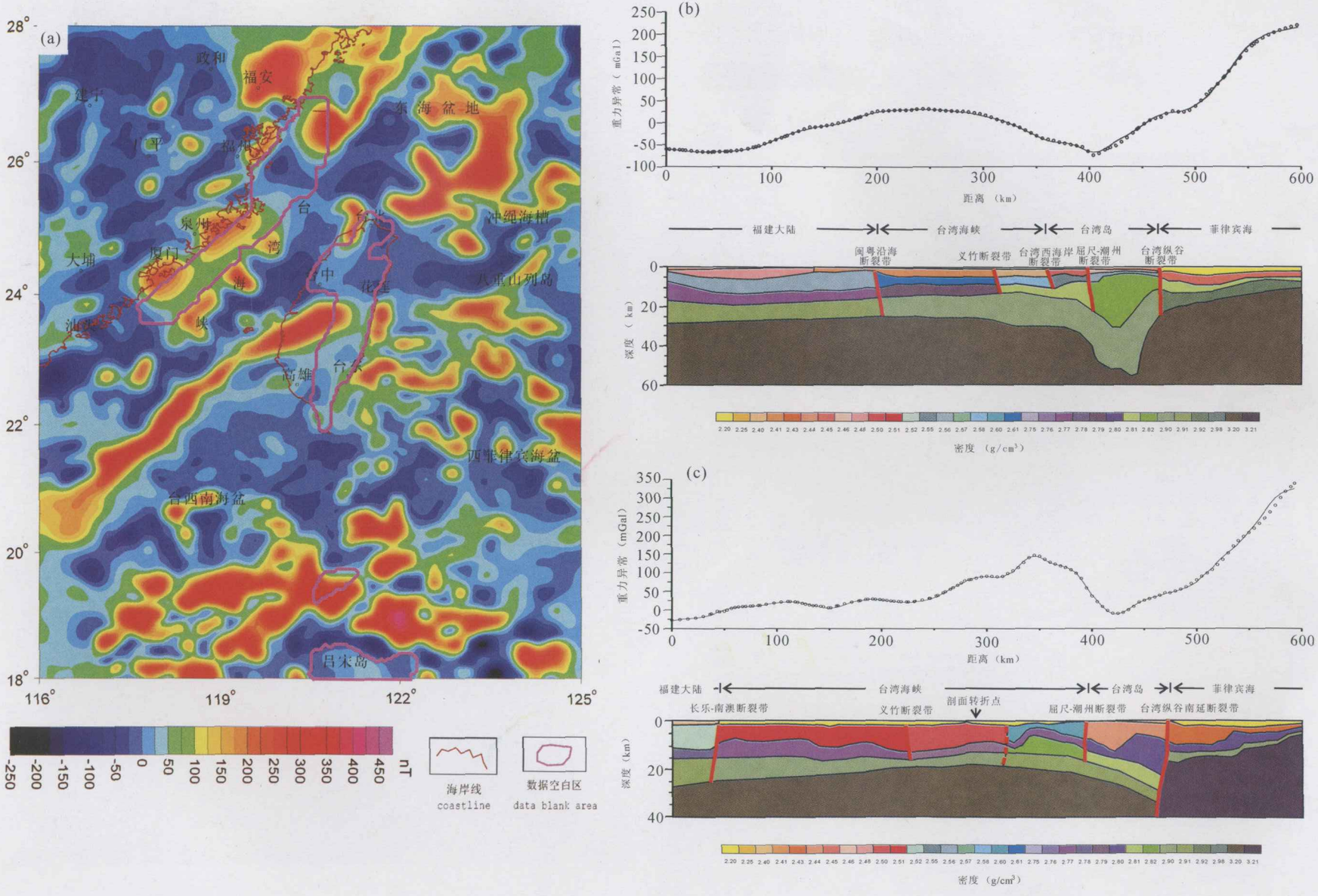
The rock physical characteristics and gravity and magnetic anomaly in Taiwan strait and neighboring area has been studied in this paper. Under the restrictions of deep seismic data gravity anomalies of two profiles across central and south part of Taiwan island are calculated. The results show that the model of crust thicken across central part of Taiwan island accords with the data of geophysical prospecting, resulting from collision between Eurasia plan and Philippine blocks. The density distribution of crust in southern Taiwan has been showed, during South China Sea block nosing down Philippine block.

Key words: Taiwan strait; gravity anomaly; magnetic anomaly; density structure of crust

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



图版 II

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net