

冲绳海槽地区地球物理场 特征及地壳结构分析

孟祥君^{1,2}, 张训华^{1,2}, 韩 波^{1,2}, 尚鲁宁³

(1 国土资源部海洋油气资源和环境地质重点实验室, 青岛 266071;

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071;

3 中国海洋大学, 青岛 266100)

摘 要:利用冲绳海槽地区最新的调查资料,系统地总结和分析了冲绳海槽地区地震波场、重力场、磁力场、热流场的特征,通过居里面的反演和莫霍界面的计算,结合编绘的图件对该地区的居里面深度和莫霍面深度的分布特征进行了研究。居里面的深度为 4~15 km,莫霍面深度在 4~28 km 之间,综合分析以往 OBS 的调查结果和地震资料解释成果,对该地区的深部地壳结构进行了探讨。

关键词:冲绳海槽;地球物理场;异常特征;地壳结构

中图分类号:P313

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2015.09001

冲绳海槽为 NE—SW 向的弧形舟状地形区,地处西太平洋中北部,琉球岛弧的西侧,东海的东南侧,是东中国海的一个特殊地理单元,南北长约 1 200 km,东西宽约 36~120 km,总面积 $1.4 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。地形的基本特征为南北分块、东西分带,海槽南部和北部地形变化极大,自北向南水深由浅变深,海槽北部水深约 894 m,中部最大水深为 1 188 m,南部最大水深为 2 322 m,海槽内发育有巨厚的沉积层。冲绳海槽的构造活动开始于中新世晚期,到更新世早期或晚上新世奠定了先进构造的基本格局,在构造性质上,冲绳海槽目前处于弧后背景下大陆张裂的最高阶段^[1],在边缘海盆地演化旋回中处于大陆张裂的最高阶段和弧后海底扩张的过渡阶段。

1 地球物理场特征

1.1 地震波组特征

冲绳海槽盆地是一个沉积厚度非常大的盆地,据多道地震资料揭示,深部反射波的双程反射时间普遍为 4 s 左右,部分可达 5.5 s。Kimura^[2]将冲绳海槽地震反射波划分为 A、B、C、D、E 5 个层组,位于海槽北部的 TO-KA-1 井验证 C 组时代为上新世;金翔龙等^[3]根据海槽南段反射地震资料,划分出了未变形的 A 层组、微变形的 B 层组、严重变形的 C 层组以及局部出现的 D 层组,前 3 组层速度分别为 1 600~2 000 m/s、2 210~2 400 m/s、2 510~3 130 m/s;徐尚武^[4]在冲绳海槽地区识别出了 T_1^0 、 T_1^1 、 T_2^0 、 T_g 4 个反射界面和 I~IV 4 套反射层组;刘建华^[5]利用单道地震剖面在冲绳海槽南部识别出层组 I 和层组 II,时代分别相当于第四纪和上新世(图 1,表 1)。

收稿日期:2015-06-30

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2013CB429701);中国地质调查项目(GZH201400205)

作者简介:孟祥君(1975—),男,硕士,高级工程师,主要从事海洋地球物理方面的工作。E-mail:sdqdmxj@126.com

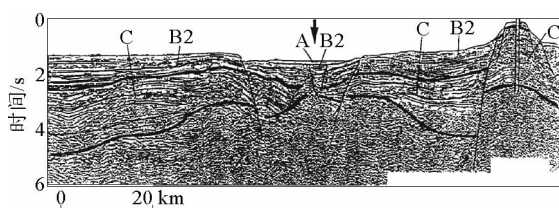


图 1 横穿海槽北部多道地震剖面 (据文献[2])

Fig. 1 A multi-channel seismic profile across the northern Okinawa Trough (from reference [2])

表 1 冲绳海槽地区地震反射层组划分对比

Table 1 The division and correlation of seismic reflections of Okinawa Trough and its adjacent regions

时代	金翔龙	木村政昭	徐尚武	刘建华
Q ₄	A	A	I	I
Q ₁₋₃		B		
			II	
N ₂	B	C	III	II
N ₁	C	D	IV	N ₁
AnN ₁	D	E	AnN ₁	AnN ₁

1.2 重力场特征

冲绳海槽及周边地区空间重力异常值(图 2)在 $(-240 \sim 180) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 之间变化,在正值背景上发育一些局部的重力低圈闭^[6,7],钓鱼岛隆褶带空间重力异常主体走向为 NE 向,南段为近 EW 向,靠近台湾岛变窄,异常值不超过 40 mGal,中段异常值可达到 60 mGal。冲绳海槽地区空间重力异常场表现为一个 NE 向低值条带夹在 2 个 NE 向高值区之间。冲绳海槽北部空间异常起伏变化大,在靠近九州岛的北部出现 NE 走向的低异常圈闭,最低为 -20 mGal,中部的空间异常在 20 mGal 的背景上叠加一些高的正异常圈闭,南部空间异常值在 10~20 mGal 之间宽缓变化,伴有低值圈闭。琉球岛弧区空间重力异常以高值正异常圈闭方式排列,异常值在 -80~120 mGal 之间变化。

冲绳海槽及周边地区布格重力异常(图 3)变化较大,异常值介于 -120~440 mGal 之间,在正值背景上发育一些局部的重力低圈闭,布格重力异常的走向为 NE 向。钓鱼岛隆褶带异常值在 20~100 mGal 之间,东北部的异常圈闭值为 20~

60 mGal。中部异常值高,可达 100 mGal,等值线走向与冲绳海槽平行。冲绳海槽地区布格重力异常走向为 NE 向,北部异常值为 80~120 mGal。由北向南异常值逐渐增大,夹串珠状高异常圈闭。南冲绳海槽布格重力异常达到 180 mGal。冲绳海槽布格重力异常南北部差异明显,变化显著,表明地壳厚度从北向南逐渐减薄,莫霍面逐渐抬升。琉球岛弧异常区布格重力异常表现为异常梯级带,由冲绳海槽逐渐升高的高异常带向岛弧前缘逐渐降低的低异常带过渡。

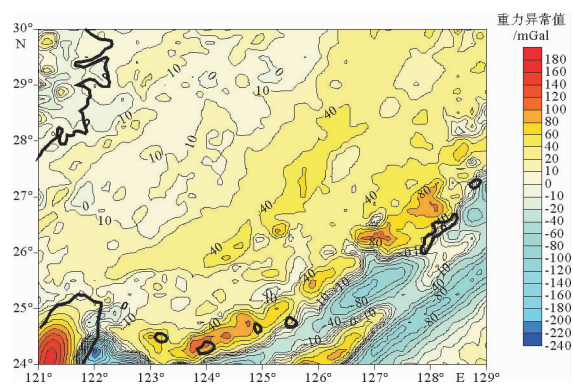


图 2 冲绳海槽地区空间重力异常

Fig. 2 Map of free air gravity anomalies of Okinawa Trough and its adjacent regions

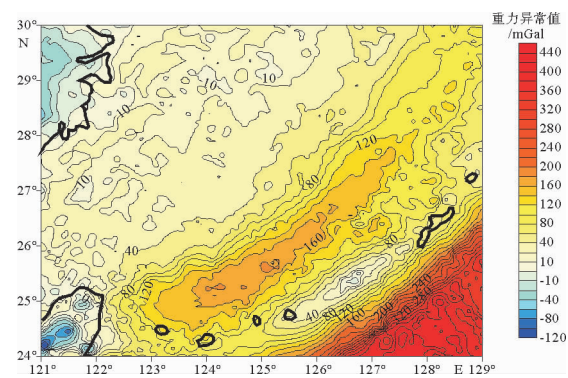


图 3 冲绳海槽地区布格重力异常

Fig. 3 Map of Bouguer gravity anomalies of Okinawa Trough and its adjacent regions

通过反演计算,获取了该地区的莫霍面埋深图(图 4),陆架盆地区莫霍面深度为 28~29 km,从平面展布情况看,陆架区莫霍面是由北西向南东逐步抬升的斜坡,相对平缓,莫霍面深度等值线

有局部圈闭;陆坡地区莫霍面深度为 23~27 km,等值线呈 NE—NNE 东方向展布,变化梯度大;冲绳海槽盆地莫霍面深度为 16~22 km,莫霍面呈 NE 向条带,表现为中间深度值低,两侧莫霍面深度值高,仍然具有大陆地壳的结构特征,并无洋壳的形成,但在海槽的轴部地壳厚度已经发生了减薄,出现过渡型地壳的性质;琉球群岛区莫霍面深度为 19~25 km,琉球海沟区莫霍面深度为 12~18 km,相对琉球群岛而言,莫霍面开始抬升,总的来说属于过渡型地壳,但在海沟东侧已出现大洋型地壳。

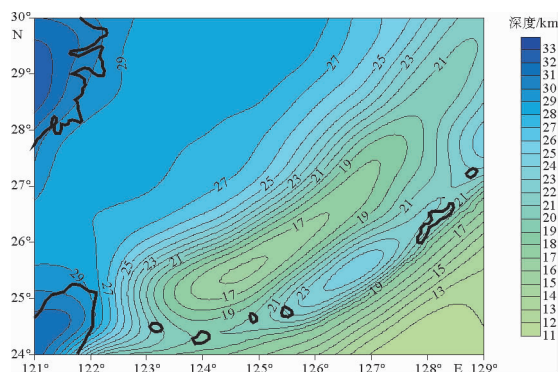


图 4 冲绳海槽地区莫霍面深度

Fig. 4 Map of Moho depth of Okinawa Trough and its adjacent regions

1.3 磁场特征

研究区磁力异常(图 5)变化较大,异常值介于-140~380 nT,磁力异常的主体走向为 NE 向^[6,8]。钓鱼岛隆褶带磁异常以 NNE 向变化的正异常为主,异常值最高可达+220 nT,该区北部磁异常变化幅度较大,南部相对较缓。冲绳海槽磁异常表现为在负异常的背景上迭加有块状正异常,磁异常值在-120~+200 nT 之间,异常走向为 NE 向,具有南北分块的特征。冲绳海槽南部则以正磁异常为主体,冲绳海槽北部以负异常为主,夹正异常圈闭,最北部出现负磁异常极值为-120 nT 圈闭,正磁异常极值+200 nT 圈闭也出现在北部。冲绳海槽磁异常南北部差异明显,变化显著,在海槽轴部,磁异常具有梯度大、频率高的特点。琉球岛弧区磁异常总体呈 NE 向展布的正负相间分布,磁异常大小基本上在-100~+100 nT 范围内。

经反演计算得到冲绳海槽地区居里面深度图(图 6),陆坡地区居里面深度为 16~25 km,等值线呈 NE—NNE 方向展布,在靠近冲绳海槽地区,居里面深度减小;冲绳海槽盆地居里面深度为 15~24 km,自南向北此区居里面深度呈现 3 个极小值圈闭,海槽西南部居里面深度值最小,冲绳海槽居里面深度中心连线呈 NNE 向,与冲绳海槽盆地整体展布方向较一致。它仍然具有大陆地壳的结构特征,并无洋壳的形成,但在海槽的轴部地壳厚度已经发生了减薄,已经出现过渡型地壳的性质;琉球群岛区居里面深度为 15~28 km,居里面深度在靠近冲绳海槽盆地南部中轴地区呈现极小值,在琉球群岛北部地区,居里面深度呈现极大值。琉球海沟区居里面深度为 20~27 km,居里面深度在两侧呈现极小值。

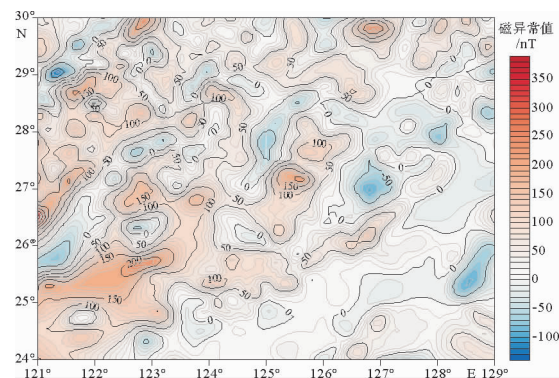


图 5 冲绳海槽地区磁力异常

Fig. 5 Map of magnetic anomalies of Okinawa Trough and its adjacent regions

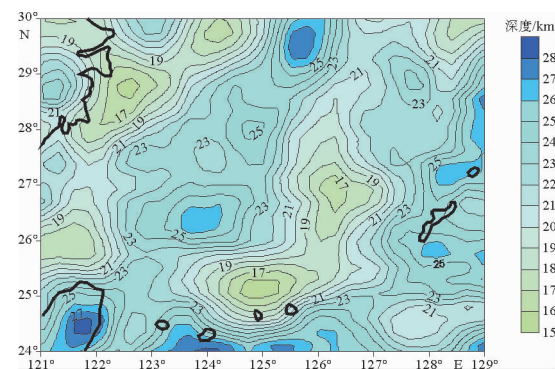


图 6 冲绳海槽地区居里面深度

Fig. 6 Map of Curie depths of Okinawa Trough and its adjacent regions

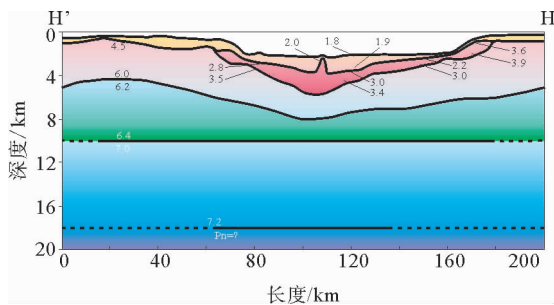


图 8 冲绳海槽南部地壳 P 波速度结构(据文献[22]修改)

Fig. 8 P-wave velocity structure of the crust in southern Okinawa Trough (modified from reference [22])

3 认识与结论

(1) 冲绳海槽及周边地区空间重力异常值在 $(-240 \sim 180) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 之间变化, 磁力异常值介于 $-140 \sim 380 \text{ nT}$, 重磁场充分刻画了该区地质构造格局, 反演计算的居里面深度和莫霍面深度深刻体现了该区地壳厚度变化, 莫霍面深度在陆架盆地区为 $28 \sim 29 \text{ km}$, 陆坡地区为 $23 \sim 27 \text{ km}$, 冲绳海槽盆地为 $16 \sim 22 \text{ km}$, 琉球群岛区莫霍面深度为 $19 \sim 25 \text{ km}$, 琉球海沟区莫霍面深度为 $12 \sim 18 \text{ km}$ 。冲绳海槽地壳发生了显著的减薄, 莫霍面北深南浅, 冲绳海槽南段的部分地区已开始过渡到扩张作用阶段。

(2) 地震探测结果和热流场特征表明, 冲绳海槽地壳明显减薄, 但海槽北、中、南 3 段地壳厚度、结构、减薄方式不同, 表明海槽不同分段所处的构造演化阶段不同, 北段仍处于初始裂谷阶段, 而中段和南段裂陷程度较高。

(3) 基于常规地震调查穿透深度的限制, 利用 OBS 调查方法的灵活性和优势, 建议在冲绳海槽地区特别是南冲绳海槽针对地壳结构问题开展 OBS 调查, 采用大容量震源, 利用长、短周期 OBS 相结合的调查方法, 加长测线长度, 加密调查网度, 利用特殊的地震资料处理方法对获取的资料开展处理与解释, 有助于从细节上研究海槽地区深部地壳结构, 同时可更进一步论证海槽发展演化的进程。

参考文献:

[1] 周祖翼, 廖宗廷, 金性春, 等. 冲绳海槽—弧后背景下大陆

张裂的最高阶段[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(1): 51-55.

- [2] Kimura M. Back-arc rifting in the Okinawa Trough [J]. Marine and Petroleum Geology, 1985(2): 222-240.
- [3] 金翔龙, 庄杰, 唐宝珏, 等. 冲绳海槽地震反射的结构特征[J]. 海洋与湖沼, 1985, 16(6): 481-487.
- [4] 徐尚武. 东海地震勘探[M]//刘光鼎. 中国海区及邻域地质地球物理特征 [C]. 北京: 科学出版社, 1992: 124-130.
- [5] 刘建华. 南冲绳海槽地震反射波特征及其地质解释 [J]. 东海海洋, 2001, 19(1): 19-26.
- [6] 刘光鼎, 等. 中国海区及邻域地质地球物理特征[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [7] 杨金玉, 孟祥君, 韩 波. 中国东部海区及邻域空间、布格重力异常图编图说明书[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.
- [8] 孟祥君, 田振兴, 韩 波, 等. 中国东部海区及邻域磁力异常 (ΔT) 图编图说明书[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.
- [9] Kinoshita M. Heat flow anomaly in the some West Pacific T-A-BA system associated with interstitial water circulation [D]. Tokyo: University of Tokyo, 1989.
- [10] Lu R S, Pan J J, Lee T C. Heat flow in the southwestern Okinawa Through [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1981, 55(2): 299-310.
- [11] 栾锡武. 琉球沟弧盆系海底热流分布特征及冲绳海槽热演化的数值模拟 [J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(1): 44-49.
- [12] 栾锡武, 张训华. 东海及琉球沟弧盆系的海底热流测量与热流分布 [J]. 地球物理学进展, 2003, 18(4): 670-678.
- [13] Ehara S, Yuhara K, Shigematsu K. Heat flow measurements in the submarine calderas, southern Kyushu [J]. Bulletin of the Volcanological Society of Japan, 1980, 25 (2): 51-61 (in Japanese).
- [14] Iwasaki T, Hirata N, Kanazawa T, et al. Crustal and upper mantle structure in the Ryukyu Island Arc deduced from deep seismic sounding [J]. Geophysical Journal International, 1990, 102(3): 631-651.
- [15] Kodaira T, Iwasaki T, Urabe T, et al. Crustal structure across the middle Ryukyu Trench obtained from ocean bottom seismographic data [J]. Tectonophysics, 1996, 263(1-4): 39-60.
- [16] Ludwig W J, Murauchi S, Den N, et al. Structure of East China Sea-West Philippine Sea margin off southern Kyushu, Japan [J]. Journal of Geophysical Research, 1973, 78(14): 2 526-2 536.
- [17] Sato K C Y, Meng J, Suyama S, et al. Reports on the seismic refraction survey on land in the western part of Taiwan, Republic of China [J]. CCOP Technical Bulletin, 1969, 2: 45-58.
- [18] Nakahigashi K, Shinohara M, Suzuki S, et al. Seismic structure of the crust and uppermost mantle in the incipient stage of back arc rifting-northernmost Okinawa Trough [J]. Geophysical Research Letter, 2004, 31

- (L02614): 1-4.
- [19] Nagumo S, Kinoshita H, Kasahara J, et al. Report on DELP 1984 Cruises in the Middle Okinawa Trough Part II: Seismic Structure Studies [J]. Bulletin of the Earthquake Research Institute of Tokyo, 1986, 61: 167-202.
- [20] Murauchi S, Den N, Asano S, et al. Crustal of the Philippine Sea [J]. Journal of Geophysical Research, 1968, 73 (10): 3 143-3 171.
- [21] Lee C S, Jr Shor G G, Bibee L D, et al. Okinawa Trough: Origin of a back-arc basin [J]. Marine Geology, 1980, 35: 219-241.
- [22] Hirata N, Kinoshita H, Katao H, et al. Report on DELP 1988 Cruises in the Okinawa Trough Part III: Crustal Structure of the southern Okinawa Trough [J]. Bulletin of the Earthquake Research Institute of Tokyo, 1991, 66: 37-70.
- [23] Klingelhoefer F, Lee C S, Lin J Y, et al. Structure of the southernmost Okinawa Trough from reflection and wide-angle seismic data [J]. Tectonophysics, 2009, 466(3/4): 281-288.
- [24] 张训华, 尚鲁宁. 冲绳海槽地壳结构与性质研究进展和新认识 [J]. 中国海洋大学学报, 2014, 44(6): 72-80.

FEATURES OF GEOPHYSICAL FIELD AND CRUSTAL STRUCTURE OF OKINAWA TROUGH AND ITS ADJACENT REGIONS

MENG Xiangjun^{1,2}, ZHANG Xunhua^{1,2}, HAN Bo^{1,2}, SHANG Luning³

(1 Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China;

2 Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China; 3 Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Based on the latest geophysical data from the areas of the Okinawa Trough, the paper analyzed the characteristics of the seismic wave field, gravity field, magnetic field and heat flow field of the Okinawa Trough, we computed the Curie depths and Moho depth of the Okinawa Trough, studied the distribution patterns of the Curie depth and the Moho depth. The Curie depth changes from 14 km to 28 km and the Moho depth changes between 4 to 28 km in the Trough and its adjacent. OBS survey and seismic data interpretation are adopted for revealing the deep crustal structure of the Trough and surrounding areas.

Key words: Okinawa Trough; geophysical field; anomaly feature; crustal structure