

文章编号: 1000-0550(2007) 05-0753-06

# 冲绳海槽现代沉积物磁学性质分布特征与环境的 关系

李 萍 李培英 徐兴永 刘乐军 曹成效

(国家海洋局第一海洋研究所海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室 山东青岛 266061)

**摘 要** 选取东海陆架至冲绳海槽槽底平原的 110 个表层沉积样品,通过磁化率、等温剩磁、非磁滞剩磁和饱和等温剩磁等多种磁学参数测量试验手段,分析探讨了沉积物磁性 与物质来源及环境的内在联系,指出不同沉积环境中,各 磁性参数表现出不同的磁性特征。冲绳海槽东槽底平原沉积物因含有较多的火山物质,磁学特征与其它沉积环境有 明显差异,各磁性参数特征值明显较强。 $\text{CaCO}_3$ 含量与磁性参数没有明显的相关性,但在高含量区可能对沉积物磁性 矿物的含量具有稀释作用,使沉积物表现出相对减弱的磁性特征。

**关键词** 冲绳海槽 磁学参数 物源 沉积环境

**第一作者简介** 李 萍 女 1972 年出生 博士 副研究员 海洋地质与第四纪环境 E-mail liping@fi. org. cn

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

冲绳海槽位于东海大陆架与琉球岛弧之间,是中 新世以来形成的一个半深水弧后盆地。由于青藏高原 的隆升和琉球岛弧的阻隔,长期以来,冲绳海槽一 直是大陆风化剥蚀产物搬运入海的一个重要汇聚盆 地,研究冲绳海槽沉积环境和物质来源,对于认识中 国大陆与西太平洋之间海陆相互作用过程和厘定陆 架海底沉积物延伸范围都具有重要意义<sup>[1]</sup>。许多科 学家从地球物理、地球化学、海洋沉积等方面对冲 绳海槽进行研究,取得了大批有价值的成果<sup>[2-5]</sup>,然 而对冲绳海槽环境磁学的研究却很薄弱。本文尝试 利用环境磁学方法,研究冲绳海槽沉积环境和物质来 源问题。

## 1 样品和方法

样品为采自陆架外缘、西陆坡、冲绳海槽西槽底 平原和东槽底平原的 110 个表层沉积物样品,采样站 位见图 1。本次研究区陆架外缘多分布细砂和粉砂 质砂等沉积物,有的样品中含有大量的贝壳及其碎 片,有的破碎呈碎屑,它们大都经受了不同程度的磨 损。陆坡和槽底平原的沉积物较细,表层沉积物以粘 土质粉砂等细颗粒类型为主,局部有粉砂质砂,砂质 粉砂等,西陆坡和西槽底平原的沉积物含有许多钙质 和有机质,而东槽底平原还含有许多火山物质。

实验测试在中国科学院地质地球物理研究所古 地磁实验室完成,分别利用 Bartington MS<sub>2</sub>磁化率仪、

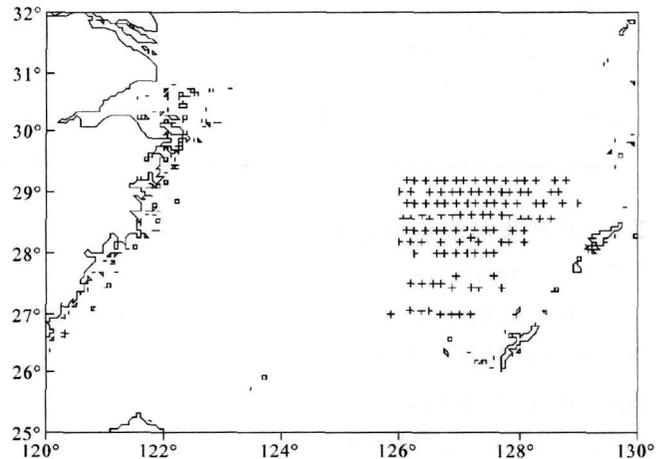


图 1 取样站位

Fig 1 Location of sampling stations

2G660 型脉冲磁化仪和 2G-760 U2Channel 岩石超导 磁力仪等仪器对样品进行了测试分析。样品处理和 分析步骤如下:

在  $< 40^\circ\text{C}$  下烘干 110 个表层样,对每个样品称 重,装入无磁性样品盒 ( $2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ ) 中;分 别在 0.47 kHz 和 4.7 kHz 频率下测量所有样品的磁 化率 ( $\chi$ );在峰值为 85 mT 的交变退磁场和 0.1 mT 的直流场下,测量所有样品的 ARM;在恒定充磁磁场 为 1T 条件下,测量所有样品的饱和等温剩磁 (SRM);在  $-300\text{ mT}$  磁场下,测量所有样品的等温 剩磁强度  $IRM_{-300}$  (恒定充磁磁场为 300 mT)。

## 2 结果和讨论

### 2.1 测量结果

在获得样品的饱和等温剩磁 ( $SIRM$ ) 后, 将其置于一个反向 300 mT 的恒定磁场中, 获得的等温剩磁用  $IRM_{-300}$  表示。定义饱和度  $S_{300} = (-IRM_{-300}) / (SIRM) \times 100\%$ ,  $S_{300}$  值反映低矫顽力磁性矿物与高矫顽力磁性矿物含量的相对变化。低矫顽力磁性矿物 (如磁铁矿) 的  $S_{300}$  值接近 1, 而高矫顽力磁性矿物 (如赤铁矿) 的  $S_{300}$  值低于 0.5<sup>[6]</sup>。

表 1 列出了陆架外缘、冲绳海槽中段西陆坡、西、东槽底平原沉积区表层样各磁性参数、 $CaCO_3$  和烧失

量平均值。由表 1 可看出: 质量磁化率 ( $\chi$ )、饱和等温剩磁 ( $SIRM$ ) 和非磁滞剩磁 ( $ARM$ ) 平均值从陆架外缘、西陆坡、西槽底平原到东槽底平原均表现为增强的趋势; 频率磁化率变化规律不明显, 但各沉积环境区的平均值均  $< 5\%$ ; 饱和度 ( $S_{300}$ ) 的平均值均  $> 87\%$ , 且从西到东有增大的趋势。代表粒度变化的指标 ( $ARM/\chi$ ) 在陆坡和西槽底平原的平均值较大, 表明此两个区域沉积物磁性矿物粒径较另外两个沉积环境偏细; 烧失量 (L. O. I) 含量的平均值在各沉积环境中基本相当, 变化不大;  $CaCO_3$  的含量在陆架外缘和西槽底平原较高, 表明这两个沉积环境区生物组分含量较高。

表 1 不同沉积环境中沉积物各参数平均值

Table 1 Average of different parameters in different environments

沉积环境	质量磁化率 / 频率磁化率		$SIRM /$	$ARM /$	$S_{300}$	$SIRM /$	$ARM /$	L. O. I	$CaCO_3$
	( $10^{-8} m^3 / kg$ )	%	( $10^{-3} Am^2 / kg$ )	( $10^{-6} Am^2 / kg$ )	%	$\chi / (kA / m)$	$\chi / (kA / m)$	%	%
陆架外缘	18.50	3.25	1.42	52.91	87.86	8.19	0.34	16.35	28.35
西陆坡	19.93	2.55	2.71	120.19	90.23	13.30	0.61	16.85	21.67
西槽底平原	25.75	2.91	4.02	139.14	93.70	15.34	0.54	16.10	17.38
东槽底平原	37.65	2.79	6.98	160.46	94.70	18.71	0.45	18.82	26.42

### 2.2 现代表层沉积物磁学性质分布特征

#### 2.2.1 饱和度 ( $S_{300}$ )

研究区内磁性矿物的  $S_{300}$  值大都大于 80%, 说明沉积物磁性特征主要为低矫顽力的磁性矿物 (如磁铁矿) 所主导, 并有高矫顽力磁性矿物 (如赤铁矿) 的贡献。图 2(a) 为研究区磁性矿物的  $S_{300}$  等值线分布图。图中有一个相对低值分布区和一个相对高值分布区, 低值区属陆架外缘环境区, 表明此区低矫顽力的磁性矿物对沉积物磁性特征的贡献低于其它环境区; 高值分布区属东槽底平原, 靠近琉球岛弧, 沉积物中含有大量的火山物质, 而火山物质的主要磁性矿物为磁铁矿, 表明东槽底平原低矫顽力的磁性矿物对沉积物磁性特征的贡献更明显高于其它环境区。

#### 2.2.2 质量磁化率 ( $\chi$ )、饱和等温剩磁 ( $SIRM$ )、非磁滞剩磁 ( $ARM$ )

质量磁化率 ( $\chi$ )、饱和等温剩磁 ( $SIRM$ ) 和非磁滞剩磁 ( $ARM$ ) 是反映磁性矿物的重要磁学参数, 它们均与磁性矿物的含量成正比, 但对不同粒级磁性矿物的反应存在较大差异<sup>[6]</sup>。

由质量磁化率 ( $\chi$ ) 等值线分布图 2(b) 可见  $\chi$  值从西北向东逐渐增加, 在研究区的西北区域质量磁化率比较低, 而研究区的东部质量磁化率比较高, 个别

位置的值达到  $274.19 \times 10^{-8} m^3 / kg$  表明东槽底平原含有较多的磁性矿物。这主要因为沉积物中含有大量的火山物质, 从而使磁化率变大。

由于东槽底平原靠近琉球岛弧, 沉积物含有大量的火山物质, 磁学性质与其他三个区有较大差异, 本文只选择了其他三个区沉积物的  $SIRM$  与  $\chi$  进行相关分析。由图 3 中可见, 陆架外缘到西槽底平原的  $SIRM$  与  $\chi$  有明显的正相关, 相关系数为 0.82 表明磁性矿物含量对  $SIRM$  有较大影响。图 2(c) 为陆架外缘到西槽底平原的  $SIRM$  等值线分布图, 显示  $SIRM$  同  $\chi$  变化趋势相似。从西北向东逐渐增加, 在  $\chi$  值最大处,  $SIRM$  值也表现最大, 在陆架外缘值则最小。

图 2(d) 为研究区沉积物  $ARM$  等值线分布图, 可以看出研究区沉积物的  $ARM$ 、 $SIRM$  和  $\chi$  的变化趋势基本相似, 自西北向东逐渐增大; 在东槽底区域, 因含较多的火山物质,  $ARM$ 、 $SIRM$  和  $\chi$  三个值同时达到最大; 在  $ARM$ 、 $SIRM$  和  $\chi$  的变化趋势中,  $SIRM$  和  $ARM$  的变化趋势更为一致, 表明沉积物磁性除受磁性矿物含量的影响外, 可能还受磁性矿物粒度的影响。

#### 2.2.3 频率磁化率 ( $\chi_{fi}$ )、 $ARM/\chi$ 、 $SIRM/\chi$

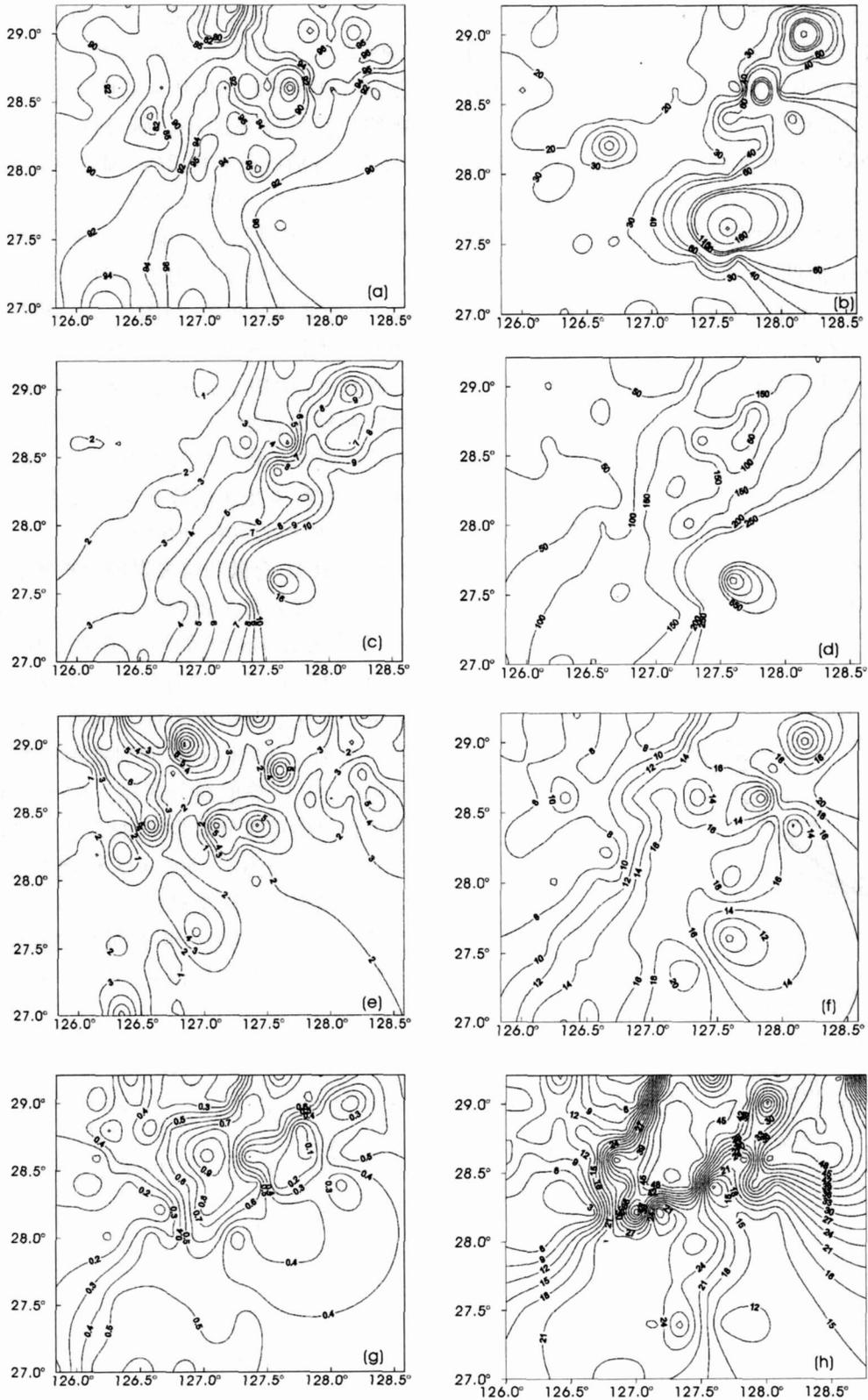


图 2 各磁学参数等值线分布图

(a)  $S_{300}$  (b)  $\chi$  (c)  $SIRM$  (d)  $ARM$  (e)  $\chi_{fd}$  (f)  $SIRM/\chi$  (g)  $ARM/\chi$  (h) 粘粒 ( $> 8\phi$ ) 含量

Fig 2 Distributions of multiple magnetic parameters of surface sediments

(a)  $S_{300}$  (b)  $\chi$  (c)  $SIRM$  (d)  $ARM$  (e)  $\chi_{fd}$  (f)  $SIRM/\chi$  (g)  $ARM/\chi$  (h) clay fraction ( $> 8\phi$ ) content

由研究区沉积物频率磁化率 ( $\chi_{fi}$ ) 分布等值线图 2(e) 可以看出, 分布曲线没有明显的规律性, 大部分地区的频率磁化率小于 5%, 表明研究区不含或含有比较少的超顺磁颗粒<sup>[7]</sup>。

$ARM / \chi$  消除了磁性矿物含量的影响, 可用来表示磁性矿物的粒径变化。在沉积物中含有少量超顺磁颗粒时, 细粒磁性矿物的  $ARM / \chi$  值高, 而粗粒磁性矿物的  $ARM / \chi$  值低<sup>[8]</sup>, 研究区频率磁化率比较小, 说明不含或含有少量的超顺磁颗粒。 $SIRM / \chi$  的变化不仅与颗粒大小有关, 同时也受亚铁磁性矿物与顺磁性矿物的比例等其它因素影响, 若磁性矿物粒径大于超顺磁/单畴界限, 随着  $SIRM / \chi$  的增加, 磁性矿物颗粒变小。由于东槽底平原的沉积物含有较多的火山物质成分, 其磁学性质较其他三个区变化大, 磁性矿物来源上明显有别于其他三个沉积区。因此, 在本论文中, 仅讨论陆架外缘、西陆坡和西槽底平原的  $ARM / \chi$  和  $SIRM / \chi$  的变化趋势。

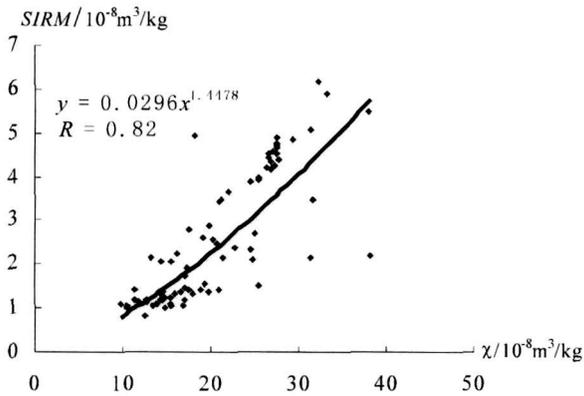


图 3  $SIRM$  与  $\chi$  相关关系

Fig 3 Correlation between  $SIRM$  and  $\chi$

由研究区沉积物磁性矿物的  $SIRM / \chi$  等值线分布图 2(f) 可以看出, 自西北向东, 由陆架外缘、西陆坡到西槽底平原,  $SIRM / \chi$  的值逐渐增大, 说明磁性矿物的粒径可能在变小。研究区沉积物磁性矿物的  $ARM / \chi$  等值线分布图 2(g) 显示从陆架外缘、西陆坡到西槽底平原,  $ARM / \chi$  的值也在增大, 且西陆坡和西槽底平原的值明显大于陆架外缘, 表明磁性矿物的粒径向东以细磁性矿物为主。图 2(h) 为粘土颗粒 ( $> 8\phi$ ) 的等值线分布图, 与图 2(g)  $ARM / \chi$  等值线分布图的形状非常相似, 在西陆坡和西槽底北侧粘土含量高的地方,  $ARM / \chi$  显示为相应的高值区, 说明磁性矿物的颗粒比较细, 同时也说明  $ARM / \chi$  较  $SIRM / \chi$  更能反映磁性矿物的粒径变化。磁性矿物粒度的变化同沉积物粒度变化趋势基本一致, 随着沉积物颗粒变小, 磁性矿物的颗粒也在变小。

### 2.3 $CaCO_3$ 含量和烧失量的分布特征

对现代海洋沉积物中钙元素赋存状态的研究表明, 钙主要以  $CaCO_3$  的形式存在。研究区沉积物中  $CaCO_3$  的含量, 主要由有孔虫壳体及其碎屑组成。烧失量是在化学分析中表征有机质与挥发份含量的指标。图 4(a) 和图 4(b) 分别指示沉积物  $CaCO_3$  和烧失量 (L O I) 等值线分布图。由于陆架外缘的沉积物主要以砂粒级分布为主, 槽底平原则以粘土细粒级的沉积物分布为主, 而  $CaCO_3$  和烧失量 (L O I) 的高值区分别集中在陆架外缘和东槽底平原南侧的部分区域。这种分布特征, 不受沉积物粒度的制约, 而与生物碎屑的分布密切相关, 可以作为生物物源替代指标。

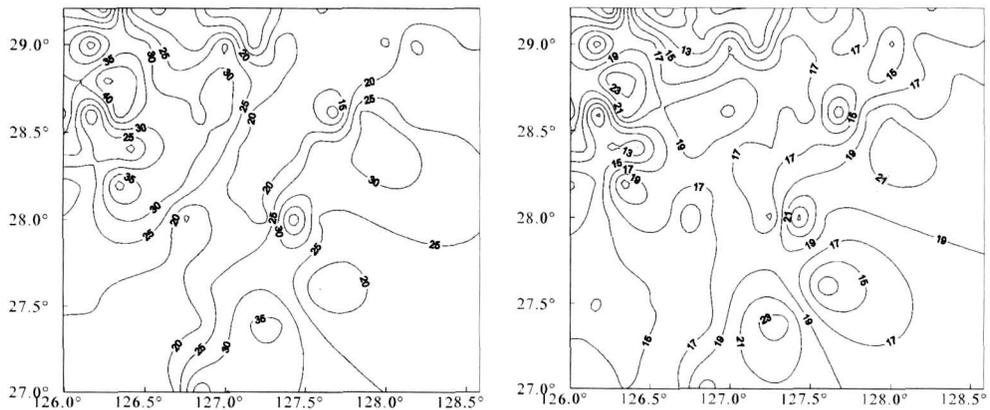


图 4  $CaCO_3$  和烧失量 (L O I) 等值线分布图 (a)  $CaCO_3$  (b) L O I

Fig 4 Distributions of  $CaCO_3$  and L O I of surface sediments (a)  $CaCO_3$  (b) L O I

## 2.4 研究区物质来源与磁学性质的关系

研究区沉积物主要物源来自三个方面: 陆源碎屑、生物碎屑和火山碎屑。

从前文可以看出, 陆架外缘、西陆坡到西槽底平原, 质量磁化率(图 2(b))、饱和等温剩磁(图 2(c))和非磁滞剩磁(图 2(d))从西向东三者的等值线分布特征均略微的增加但变化幅度不大, 这可能与所处沉积环境物质来源均以陆源物质为主有关, 从陆架外缘到冲绳海槽平原, 陆源碎屑在火山爆发、地震、海啸等突发事件下, 搅动海底沉积物形成高浓度水体使之顺较陡的斜坡流向陆坡及海槽输送, 同时, 陆源碎屑中的细粒碎屑及部分悬浮体的沉积, 可通过海洋动力作用输送到陆坡和海槽。在研究区东槽底平原, 分布有许多火山热液形成的海底火山丘, 沉积物含有大量的火山碎屑成分, 尤其以海槽的东北部最为明显, 磁学性质与其他三个区明显不同, 各磁性参数值明显增强, 且质量磁化率、饱和等温剩磁和饱和度在研究区东北部均表现出高值的特征。

从陆架外缘到东槽底平原, 沉积物的粒度逐渐变细。其中, 东槽底平原因为含有火山物质, 粒径较西陆坡、西槽底平原稍粗。而磁学性质参数  $ARM/\chi$  所反应的磁性矿物粒度恰好与研究区沉积物的粒度变化趋势基本一致, 表明磁性矿物的来源和扩散方式与海底沉积物的来源和扩散方式基本一致, 均以陆源碎屑为主。

由于东槽底平原沉积物含有较多的火山物质, 磁学性质变化较大, 本文只对其他三个沉积环境区的磁学参数与  $CaCO_3$  之间的关系进行讨论。根据测量结果, 对磁化率和  $CaCO_3$  进行了相关性分析, 图 5 显示二者的相关性较差。从前文的图 2(b)、图 2(c)、图 2(d)和图 4(c)也可以看出: 沉积物的磁化率( $\chi$ )、非磁滞剩磁( $ARM$ )、饱和等温剩磁( $SIRM$ )等磁性参数自陆架外缘、西陆坡到西槽底平原逐渐增大, 而  $CaCO_3$  的值却表现为逐渐减小的趋势。尽管  $CaCO_3$  与磁性参数没有明显的相关性, 但作为生物物源的替代指标, 可能在生物成分含量高的沉积环境中(如陆架外缘), 生物成分对磁性矿物具有稀释作用, 从而使  $CaCO_3$  高值区对应着磁性参数低值区, 因此沉积物生物碎屑从某种程度上会影响沉积物的磁学性质。尽管在东槽底的南侧也含有大量的生物源物质(如有孔虫壳体、翼足类碎片、放射虫、硅藻、颗石藻等生物碎屑), 但由于沉积物中同时含有较多的火山物质, 生物源稀释作用被火山物质的强磁性所掩盖, 而表现

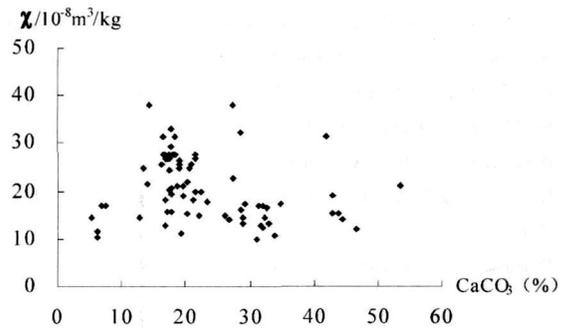


图 5 质量磁化率随  $CaCO_3$  变化关系图

Fig 5 Correlation between  $CaCO_3$  and magnetic susceptibility

出强的环境磁学特征。

## 3 结论

(1) 从陆架外缘、西陆坡到西槽底平原, 物质来源主要以陆源物质为主, 含有部分生物碎屑; 沉积物质量磁化率( $\chi$ )、饱和等温剩磁( $SIRM$ )、非磁滞剩磁( $ARM$ )和饱和度( $S_{300}$ )等各磁性参数的等值线变化趋势一致, 自西向东呈增强趋势; 而东槽底平原沉积物中因含有许多火山碎屑, 磁学性质特征与其他三个区明显不同。

(2)  $SIRM/\chi$ 和  $ARM/\chi$ 的变化趋势表明, 磁性矿物颗粒与沉积物粒度的变化趋势基本一致, 即随着沉积物粒级变小, 磁性矿物的颗粒也变小。

(3)  $CaCO_3$ 含量与磁学参数没有明显的相关性, 但在高含量区, 沉积物磁性相对减弱; 作为生物物源替代指标的  $CaCO_3$  可能对沉积物磁性矿物具有稀释作用, 从而影响沉积物磁学性质。

## 参考文献 (References)

- 1 Li Ping, Li Peiyong, Zhang Xiaolong, et al. Magnetic properties of different grain-sized particles of sediments from the Okinawa Trough and their relationships to sedimentary environment. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(7): 696-672
- 2 黄福林. 冲绳海槽的形成与演化探讨. 海洋地质与第四纪地质, 1989, 9(1): 43-51 [Huang Fulin. Formation and evolution of the Okinawa Trough. Marine Geology & Quaternary Geology, 1989, 9(1): 43-51]
- 3 孟宪伟, 杜德文, 程振波. 冲绳海槽有孔虫壳体的微量元素 Sr, Nd 同位素地球化学. 海洋学报, 2001, 23(2): 62-68 [Meng Xianwei, Du Dewen, Cheng Zhenbo. Trace elemental and Sr-Nd isotopic geochemistry of foraminifera shell of the Okinawa Trough. Acta Oceanologica Sinica, 2001, 23(2): 62-68]
- 4 李培英, 王永吉, 刘振夏. 冲绳海槽年代地层与沉积速率. 中国科学(D辑), 1999, 29(1): 50-55 [Li Peiyong, Wang Yongji, Liu Zhenxia.

- ia Chronostratigraphy and deposition rates in the Okinawa Trough region. *Science in China (Series D)*, 1999, 29(1): 50-55]
- 5 刘振夏, 李培英, 李铁刚, 等. 冲绳海槽 5 万年以来的古气候事件. *科学通报*, 2000, 45(16): 1776-1781 [Liu Zhenxia, Li Peiying, Li Tiegang, *et al*. The paleoclimatic events and cause in the Okinawa Trough during 50 ka BP. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(16): 1776-1781]
- 6 Thompson R, Oldfield F. *Environmental Magnetism*. Allen and Unwin, London, 1986, 227
- 7 Dearing J A, Dann R J, Hay K. Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophysical Journal International* 1996, 124: 228-240
- 8 Banerjee S K, King J W, Marvin J. A rapid method for magnetic granulometry with applications to environmental studies. *Geophysical Research Letters*, 1981, 8: 333-336

## Distribution Characteristics of Magnetic Parameters of the Surface Sediments in the Okinawa Trough and Their Relationships to Sedimentary Environment

LI Ping, LI Peiying, XU Xing-yong, LIU Le-jun, CAO Cheng-xiao

(Key Lab of Marine Sediment and Environmental Geology, First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao Shandong 266061)

**Abstract** Multiple magnetic parameters measurement such as magnetic susceptibility, saturation remnant magnetization, anhysteresis remnant magnetization were made on 110 surface samples taken from the shelf of the East China Sea to abyssal plain of the Okinawa Trough. Based on the measured results, correlation in sediment magnetic characteristic and material provenance with different sedimentary environments were discussed. The sediment from individual sedimentary environments show distinguishable local environmental characteristics and are characterized by different magnetic properties. As the east abyssal plain of the Okinawa Trough contains some volcanic materials, it shows stronger magnetic characteristics than other sediment environments. There are no clearly correlation between  $\text{CaCO}_3$  and magnetic parameters, but magnetic feature tends to become weaker with the content of  $\text{CaCO}_3$  increase. Being a biogenic index,  $\text{CaCO}_3$  possibly dilute the content of magnetic minerals of sediments to affect the magnetic characteristics of sediments.

**Key words** Okinawa Trough, multiple magnetic parameters, material provenance, sedimentary environment