

近 2 Ma 来东菲律宾海地球磁场相对强度变化的沉积记录^{*}

孟庆勇^{1,2} 李安春^{1 ①} 蒋富清¹ 徐兆凯^{1,2} 朱友生³ 李德鹏⁴

(1. 中国科学院海洋地质与环境重点实验室 中国科学院海洋研究所 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049; 3. 中海油服勘探事业部 天津 300451; 4. 国家海洋环境监测中心 大连 116023)

提要 为了解东菲律宾海沉积物记录的地球磁场相对强度变化,并为研究区的地层定年提供新的手段,对东菲律宾海帕里西维拉海盆西侧 F090102 孔柱样沉积物进行了系统的古地磁和岩石磁学分析。根据功率谱分析,选择非磁滞剩磁作为归一化的参数,得到约 2 Ma 以来的地球磁场相对强度变化曲线。该曲线与 SINT-2000 曲线可详细对比,呈比较典型的锯齿状特征,布容期内的记录与 800 ka 以来的 SINT-800 曲线相符。布容/松山极性转换期呈单强度降低的特征,在极性转换期和极性漂移期,相对强度曲线表现为显著低值。

关键词 沉积物, 相对古地磁强度, 东菲律宾海
中图分类号 P731

近几年,随着实验技术和岩石磁学理论的不完善和发展,获取地质历史时期可靠的地球磁场古强度数据已成为可能。相对于火山岩的不连续记录,深海沉积物相对强度的研究能够给出长时间的地磁场变化特征(Tauxe, 1993)。这对研究地磁场极性稳定期偶极子场的长期变行为以及极性倒转期地磁场的演化或其他地磁场特征(例如漂移、微小摆动等),并进一步理解地磁场发电机机制非常重要。

Guyodo 等将采自地中海(Tric *et al.*, 1992)、印度洋(Meynadier *et al.*, 1992)、太平洋(Yamazaki *et al.*, 1994)、大西洋(Lehman *et al.*, 1996)和苏禄海(Schneider, 1993)等 18 个地点的深海沉积所记录的相对古地磁场强度资料进行了对比,分析叠加得到了全球 200 ka 以来综合强度曲线(SINT-200)(Guyodo *et al.*, 1996);并随后扩展到 800 ka(SINT-800)(Guyodo *et al.*, 1999);Valet 等(1993)通过对近赤道太平洋沉积物的研究,得到了 4 Ma 以来地磁场相对强度变化的曲线;随后又综合了不同地区的记录,得到 2 Ma 来的综合相对强度曲线(SINT-2000)(Valet *et al.*, 2005)。这些曲线证实了

沉积物可以记录可靠的地磁场相对强度变化,同时证实全球尺度的地磁场相对强度变化具有一致性,因此可以作为全球对比和定年的工具。过去的 10 年中,相对强度曲线越来越多地作为全球千年尺度的相关研究和定年的有效手段(Channell *et al.*, 1997, 2000; Horng *et al.*, 2003; Jaume *et al.*, 2002; Stoner *et al.*, 2000; Veronica *et al.*, 2006),尤其在水深大于碳酸盐溶解深度(CCD)的海域,由于缺少放射性同位素定年的材料,这种方法就显得特别重要。

本文中作者以东菲律宾海深海区柱样沉积物为研究对象,进行了古地磁和岩石磁学方面等多个参数的综合测量,通过归一化天然剩磁(NRM)得到地磁场相对强度变化曲线,为地磁场相对强度研究提供了新的记录,并为研究区的地层定年提供了新的手段。

1 材料与方法

本次研究样品取自东菲律宾海的帕里西维拉(Parece Vela)海盆边缘。帕里西维拉海盆是一个弧后

^{*} 国家自然科学基金资助项目, 90411014 号和中国科学院知识创新工程重要方向资助项目, KZCX2-YW-211 号。孟庆勇, 博士, E-mail: mengqingy@mails.gucas.ac.cn
收稿日期: 2009-03-12, 收修改稿日期: 2010-06-20

盆地, 东邻西马里亚纳海脊, 北邻四国海盆, 西邻帛琉-九州海脊, 南部是复杂的岛弧、海沟和断裂带系统, 海底沉积物主要为黄褐色、红褐色或褐色远洋粘土, 硅质及钙质含量均较少。F090102 重力柱状样是由“科学一号”考察船在 2003 冬季航次取得, 位于东菲律宾海帕里西维拉海盆西部, 邻近帛琉-九州海脊(图 1), 地理坐标为 135.878°E, 17.921°N, 水深 4350 m, 位于 CCD 以下。

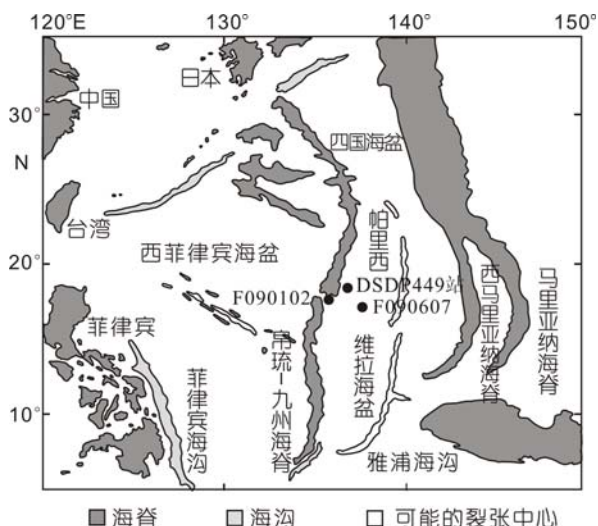


图 1 采样点地理位置图

Fig.1 Location of the study area and the sampling site

F090102 柱样长度为 388 cm, 去除底部扰动的样品后, 实际用于磁性特征研究的样品为 0—378 cm。沉积物主要是黄褐色粘土, 并见红褐色与褐色夹层, 岩性无明显变化。古地磁取样每隔 2 cm 自上而下等距离连续进行, 无磁性立方盒封装, 共取得样品 95 个。

首先测量所有样品的天然剩磁 NRM 和磁化率 χ , 然后对 NRM 进行退磁。 NRM 的测量由 2G-755R 岩石超导磁力仪完成, 仪器测量范围为 $1.0 \times 10^{-12} - 2.0 \times 10^{-4} \text{ Am}^2$; 灵敏度为 $2.4 \times 10^{-11} \text{ Am}^2$ 。全部样品的天然剩余磁距在 $1.30 \times 10^{-9} \text{ Am}^2$ 和 $6.3 \times 10^{-7} \text{ Am}^2$ 之间, 处于仪器正常测量范围之内, 因此结果是可信的。交变退磁选择 0、5、10、15……80 mT 共 11 步的退磁步骤进行。然后应用 2G-760 超导磁力仪(90 mT 的交变场叠置 0.1 mT 的直流场)测定样品的非磁滞剩磁 ARM ; 应用 IM10-30 冲磁仪, 将待测样品在 1.7 T 的磁场中磁化, 由 JR-6 旋转磁力仪测得饱和等温剩磁 ($SIRM$); 将样品放在 300 mT 的反向场中磁化, 测得其等温剩磁, 以 $IRM_{-300\text{mT}}$ 表示; 定义 $S_{300} = -IRM_{-300\text{mT}}/$

$SIRM$ 。选择部分样品的复样, 利用 KLY-4S 卡帕桥磁化率仪和 CS-3 温度控制系统测量磁化率 χ 随温度 T (从室温至 700°C)的变化特征—— $\chi(T)$ 曲线, 以确定样品中的磁性矿物种类。典型样品的磁滞参数(饱和磁化强度 M_s 、饱和剩余磁化强度 M_{rs} 、矫顽力 B_c 和剩磁矫顽力 B_{cr})的测量在 Micromag2900 型变梯度磁力仪上完成, 其中 M_s 、 M_{rs} 和 B_c 通过 1.5 T 最大外加场下得到的磁滞回线获得, 样品在达到饱和后加逐步递增的反向场测得 B_{cr} 。磁性参数 $SIRM$ 、 $IRM_{-300\text{mT}}$ 和 $\chi(T)$ 曲线的测量在中国地质大学(北京)地学实验中心进行, 磁滞参数测量在北京大学物理学院磁学实验室进行, 其余磁性测量在中国科学院地质与地球物理研究所古地磁实验室完成。

2 结果与讨论

2.1 磁性地层

由于样品取自深海, 从剖面上看无明显沉积间断, 认为可以获得连续的地磁场变化序列。退磁结果显示, 多数样品在 20—30 mT 时可获得可靠稳定的特征剩磁, 数据点基本上呈线性, 并趋向原点。随着退磁场递增, 样品的剩余磁化强度逐渐下降, 25 mT 时获得的剩余磁化强度约占天然剩磁强度(NRM)的 50%—60%, 而且退磁曲线较光滑, 未有大幅度的跳跃, 这些特征表明沉积物中的磁性物质比较单一, 磁化较均匀。

选 20 mT 后的数据, 应用主成分分析法(Kirschvink, 1980)计算特征倾角(INC), 并得到最大偏离角度值 MAD , 大多数样品的 MAD 小于 5, 表明了数据的可靠性。 MAD 高于 10 的值可能与地磁场的倒转或漂移有关。沉积物样品在布容期内的磁倾角平均值为 27.5° , 负倾角的平均值为 -30.0° , 与采样点所处纬度的现代磁倾角期望值 32.9° 相当, 暗示着样品的压实作用对其记录的磁场倾角影响不大, 因此样品比较可靠地记录了地磁场的信息。虽然在取样时未定向, 但样品的磁偏角(DEC)仍具有相对意义, 当正负极性发生转变的时候, DEC 也随之从一极偏向到另一极。存在极性漂移的时段, DEC 也与 INC 有很好的对应关系。根据 INC 划分磁极性地层(图 2), 从图上可以看出, 布容正极性期和松山反极性期界线(0.78 Ma)清晰, 在松山反极性期内, 232—248 cm 发现有 5 个正磁倾角, 按照古地磁极性年表确定的事件(Merrill *et al.*, 1999), 应为贾拉米洛正极性事件(0.990—1.070 Ma), 在 344—354 cm 发现三个正磁倾角, 认

为是奥都威事件(1.770—1.950 Ma), 在底端 376 cm 处出现一个正磁倾角, 可能为留尼昂正极性事件(2.140—2.150 Ma), 受柱样长度所限还需进一步确定。在采样点附近, 1978 年 2 月深海钻探计划(DSDP)59 航次钻取了 449 站位的岩芯, 结果证实该区沉积速率很低, 0—47.5 m 的平均沉积速率仅为 3.44 mm/ka(Loren *et al.*, 1981)。相近的 F090607 站位取得一个短柱样, 徐兆凯对其进行了铀系测年分析, 结果表明, 8 cm 处的年龄可达到 5 万年左右, 沉积速率仅为 1.57 mm/ka(据徐兆凯尚未发表资料)。结合这些结果和 F090102 磁极性柱, 得到柱样的大致年代, 并以通过对比获得的年龄为控制点, 建立深度-时间转换模型。根据岩芯极性带界线产出深度, 参照极性年代表推算柱样沉积物的平均沉积速率可得, 在布容正极性期内, 沉积速率约为 2.31 mm/ka, 在松山反极性期内, 沉积速率约为 1.49 mm/ka, 柱样的平均沉积速率约为 1.82 mm/ka。

2.2 岩石磁学参数

沉积物的剩磁获得是个复杂的过程, 除地球磁场强度外, 还受到磁性矿物种类、粒度大小、气候环

境等因素的影响。Tauxe(1993)认为供地磁场相对强度研究的沉积物岩芯应该避免生物扰动的不良影响; 沉积物剩磁的性质为碎屑剩磁, 特征剩磁成分单一, 有稳定的特征剩磁方向, 粒度较细且均一的磁铁矿最为理想; 以磁化率 χ 、非磁滞剩磁 ARM 等衡量的磁性矿物浓度的变化不超过 10 倍; 理想的样品用各种不同的归一化方法处理后, 结果应比较一致。因此在相对强度研究之前进行岩石磁学分析是必须的, 岩芯中各磁学参数随深度的变化如图 3 所示。

磁化率 χ 、非磁滞剩磁 ARM 、饱和等温剩磁 $SIRM$ 等参数都与磁性矿物含量有关, 从图 3 上也表现出相似的变化特征, 磁性矿物的含量波动不大, 而与 NRM 的变化趋势较不同, 表明天然剩磁受到磁性矿物含量的影响较小。全部样品的磁化率最小值为 $4.562 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, 最大值为 $23.018 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, 仅相差约 5 倍, 表明磁性矿物的浓度变化不是很大。 S_{300} 的大小则与矿物种类有关, 反映低矫顽力磁性矿物和高矫顽力磁性矿物含量的相对比例(Dekkers, 1997)。低矫顽力磁性矿物(如磁铁矿)的 S_{300} 值接近于 1, 而高矫顽力磁性矿物(如赤铁矿)的 S_{300} 值低于 0.5。岩芯中的 S_{300} 的值在 0.921—0.983 之间变化, 平均值为 0.957, 接近于 1, 表明沉积物中的磁性矿物以低矫顽力的磁性矿物(磁铁矿)为主。如图 4 所示, $\chi(T)$ 曲线的结果证实样品磁化率在 585 °C 左右急剧降低, 与磁铁矿的居里温度一致。岩芯底段样品的居里温度在 550 °C, 可能还含有一定的钛铁矿。在加热过程中, 有的样品在 150 °C 左右磁化率明显增加, 有可能是含铁硅酸盐矿物或粘土矿物(如绿泥石)受热变成磁铁矿所致。磁滞回线参数 M_s 、 M_{rs} 和 B_c 是在去掉高场顺磁组分的影响后得到的, 投影在“Day 图”(Day *et al.*, 1977)上, 数据点落在单畴和准单畴颗粒混合的区域内, 表明磁性矿物颗粒较细。

非磁滞剩磁磁化率 χ_{ARM} 是样品的非磁滞剩磁与获得非磁滞剩磁时设置的直流场的强度之比, 对单畴磁性颗粒很敏感。比值参数 χ_{ARM}/χ 还可以指示亚铁磁性矿物颗粒的大小(Evans, *et al.*, 2003), 较高的比值反映了单畴颗粒, 而较低的比值反映了多畴或超顺磁颗粒以及细粘滞性晶粒。实验结果显示样品中 χ_{ARM}/χ 比值偏高, 指示出磁性矿物的颗粒较细, 并且两者相关性比较好(相关系数 $R^2 = 0.94$), 表明岩芯中磁性矿物粒度均一。

早期还原成岩作用能使沉积物的载磁矿物发生

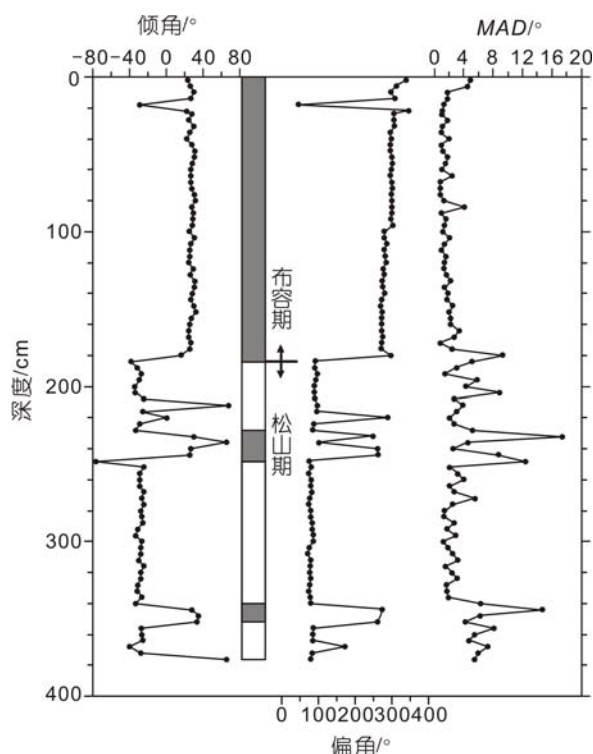


图 2 磁极性地层(MAD 为最大偏离角度值)

Fig.2 Inclination, declination and MAD (maximum angular deviation) from core F090102

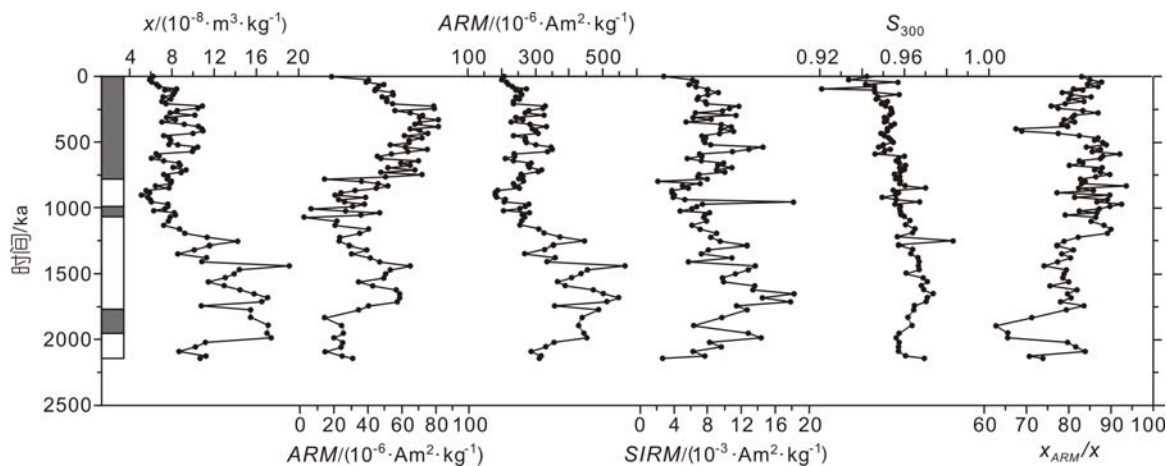


图 3 柱状沉积物中 χ 、 NRM 、 ARM 、 $SIRM$ 、 S_{300} 等参数的变化曲线

Fig.3 Variations of magnetic parameters from core F090102, including χ , NRM , ARM , $SIRM$ and S_{300}

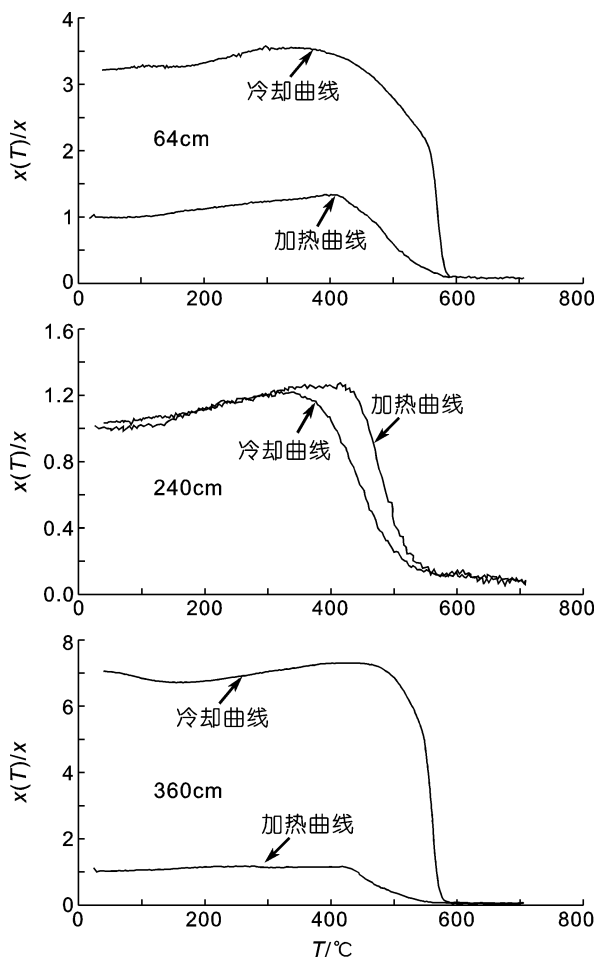


图 4 典型样品的 χ - T 曲线 [$\chi(T)$ 以 30 °C 的 χ 归一]

Fig.4 Representative temperature dependence of magnetic susceptibility curves (The susceptibilities are normalized to the room temperature values)

选择性溶解和再沉淀, 改变沉积物的原始磁学性质, 从而使古地磁结果和磁学参数的解释复杂化(Liu et

al, 2004)。从岩石磁学结果看, F090102 孔的磁学参数并没有出现快速下降, χ - T 曲线也没有显示铁硫化物的热磁行为, 故沉积序列并未受到明显的早期成岩作用的影响, 可以真实的记录古地磁场的信息, 并且样品磁性均一, 适合做地磁场相对强度的研究。

2.3 地磁场相对强度

绝大多数研究结果表明, 用 ARM 、 $SIRM$ 和 χ 作为归一化参数确定地球磁场相对强度具有最小的环境因素偏差(Tauxe, 1993), 归一化后的 NRM 可以反映地磁场相对强度的变化。因此作者用 ARM 、 $SIRM$ 和 χ 分别对经 25mT 交变退后的天然剩磁 NRM_{25mT} 进行归一化, 以获得地磁场的真实贡献, 其变化曲线如图 5 所示。

从图 5 可以看出, 用不同的归一化参数处理的结果是一致的。这是由于样品的 ARM 、 $SIRM$ 和 χ 的相关性都很好, ARM/χ 、 $SIRM/\chi$ 和 $ARM/SIRM$ 三者的差别不大。为检验相对强度结果的独立性, 分别对不同归一化的天然剩磁和各自的归一化参数进行功率谱分析, 并进行一致性检验(Tauxe, 1990), 其结果如图 6 所示。从图 6 看, 归一化后的 NRM_{25mT} 和归一化参数各自的功率谱(power)以及两者的交叉谱(coherency)具有较好的独立性, 在 95% 的置信水平上, 其互相关系数都比较低, 在 ARM 、 $SIRM$ 和 χ 三个归一化参数之中, 后两者都有高出置信水平的相关部分, 而 ARM 与归一后的相对强度最不相关, 因此选择 ARM 作为归一天然剩磁的参数。通过对 NRM_{25mT}/ARM 做功率谱分析, 发现存在 934 ka、63 ka 及 58 ka 的周期。而对表征亚铁磁性矿物颗粒大小的参数 χ_{ARM}/χ 做功

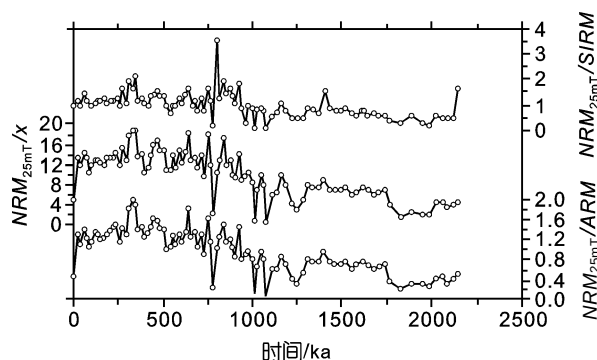


图5 NRM_{25mT}/ARM 、 NRM_{25mT}/χ 以及 $NRM_{25mT}/SIRM$ 的变化(各参数已由其平均值作归一)

Fig.5 Summary of normalized remanences from core F090102 (Each data series was normalized by its own mean value)

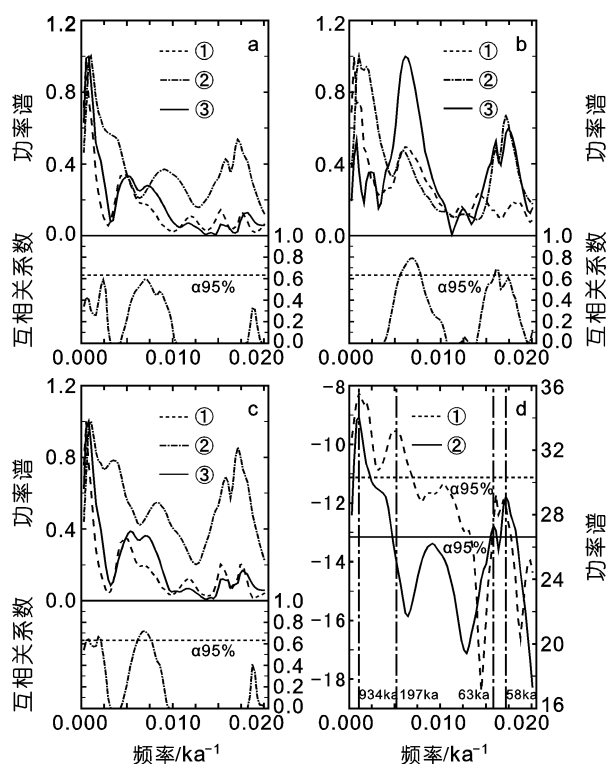


图6 归一化参数与归一化 NRM_{25mT} 之间的谱分析结果(a, b, c)及相对强度和 χ_{ARM}/χ 的功率谱(d), $\alpha 95\%$ 为 95%置信水平线

Fig.6 Coherence tests of normalized remanences and normalization parameters (a, b, c); Power spectral analyses of RPI and χ_{ARM}/χ , $\alpha 95\%$ is considered significant at the 95% level.

图6a: ① NRM_{25mT}/ARM , ② ARM , ③ $NRM_{25mT}/ARM-ARM$; 图6b: ① $NRM_{25mT}/SIRM$, ② $SIRM$, ③ $NRM_{25mT}/SIRM-SIRM$; 图6c: ① NRM_{25mT}/χ , ② χ , ③ $NRM_{25mT}/\chi-\chi$; 图6d: ① χ_{ARM}/χ , ② NRM_{25mT}/ARM

率谱分析, 发现有 934 ka 及 197 ka 的周期。由于柱样底界年龄仅为 2300 ka 左右, 故处于低频区的 934 ka

周期不足信, 除去以后, 在 95%置信水平上, NRM_{25mT}/ARM 与 χ_{ARM}/χ 不存在相似的周期, 这表明岩性变化对于相对强度的影响已经基本去掉。对于 NRM_{25mT}/ARM 的周期, 利用 REDFIT35 (Schulz *et al*, 2002) 进行谱分析, 发现三个周期成分均未达到 99% 的红噪声置信水平, 只有 58 ka 周期达到 95% 红噪声置信水平(图 7)。

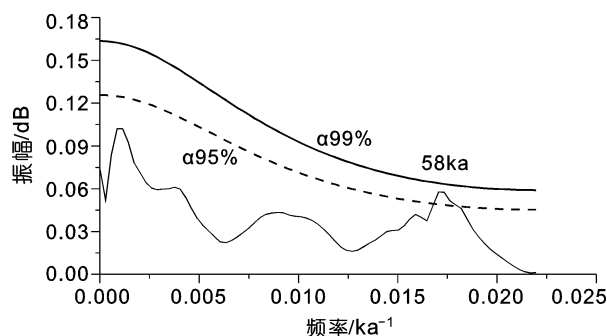


图7 NRM_{25mT}/ARM 的红噪声谱分析, $\alpha 95\%$ 、 $\alpha 99\%$ 分别为 95% 和 99% 置信水平线

Fig.7 Spectral analysis of red-noise for NRM_{25mT}/ARM , $\alpha 95\%$ and $\alpha 99\%$ are considered significant at the 95% and 99% level respectively

Meynadier 等(1994)对约 4 Ma 以来相对强度曲线研究认为, 整体上表现为锯齿状特征, 在一个倒转或者漂移之后紧接着为一个快速的增高, 然后是逐渐的降低到一个比较低的水平, 直到另一个倒转或漂移事件的发生。本文的相对强度变化曲线大体与此特征相似, 整体上是 一个 侧较陡的宽弧, 中间夹杂许多强度的降低(DIP)事件和强度的微小摆动。从图 7 可以看出, 在极性倒转或漂移发生的时期, 相对强度曲线都表现出明显的 DIP。在沉积速率比较高的海区, 布容期与松山期的转换期表现为双 DIP 特征(Paul *et al*, 1993, 1996; Yamazaki *et al*, 1995), 但是本研究区的沉积速率极低, 双 DIP 特征并没有表现出来, 而是模糊成单 DIP。与 800 ka 以来整个布容期内地磁场相对强度综合曲线 SINT-800 对比可以发现(如图 8 所示), 两者吻合的比较好。Guyodo 在曲线中识别出了 Laschamp 事件、Blake 事件等极性漂移事件, 这些事件在 NRM_{25mT}/ARM 的曲线上也表现为强度低值, 这种一致性表明了归一化相对强度的可靠。Yamazaki 等(1999)在北太平洋钻孔中发现的强度低值分布在 30—50、100—120、180—200、280—300、380—420、500—550、600、660—700 ka, 作者的结果与其也基本一致。

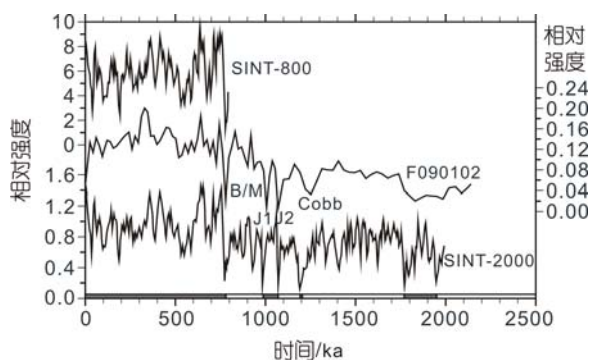


图 8 相对强度(RPI)曲线 NRM_{25mT}/ARM 与 SINT-800 曲线及 SINT-2000 曲线的对比

Fig.8 Comparison of results from F090102 with the SINT-800 and SINT-2000 composite curves

在布容/松山极性转换之后, 出现了相对强度曲线的最高峰, 整体上看布容期内的相对强度平均值要比松山期高。在松山期内, 除了贾拉米洛和奥都威正极性事件发生时的 DIP , 在 270 cm 深度, 即以沉积速率推算的 1262 ka 时, 也记录了相对强度的谷值。进一步将相对强度曲线与 SINT-2000 对比可知, 此处相对强度低值为 Cobb Mountain 极性漂移事件在本研究区的反映。SINT-2000 记录的 Cobb Mountain 极性漂移大致发生在 1190 ka 左右, 两者之间的年龄差异可能由本区极低的沉积速率导致。与 SINT-2000 记录相似, 地磁场在倒转前发生强度的降低, 而在倒转之后强度得以迅速重建。在与 SINT-800 及 SINT-2000 的对比中, 一些谷和峰的变化不一致, 可能是由于研究区的沉积速率极低, 分辨率不同, 另外, 沉积物的岩性(Christine *et al*, 2004)(如有机质含量的变化)以及流体学特征(Katari *et al*, 2000)的不同, 也会对地磁场强度记录产生影响。由于较低的沉积速率, 本文记录中的高频信息已经被平滑掉。总的来看, 本研究获得的相对强度曲线可以与全球记录对比, 基本上反映了全球性的信号。

对重建的相对古强度变化, 比较一致的看法是, 地磁场减弱的主要时段与地磁场倒转和(或)漂移有关, 地磁场的强度与方向变化有内在的联系, 这在作者的记录上得到印证。相对强度所记录的地磁场漂移事件, 在岩石磁学参数图中并没有反映, 这也说明相对强度曲线反映的是真实地磁场的贡献。曾经有学者认为, 地磁场强度变化与气候变化相关(Wollin *et al*, 1971), 这一问题尚未完全解决。但是从目前的研究来看, 利用深海沉积物研究地磁场强度与气候变迁之

间的相关性是很困难的, 地球磁场强度变化和气候变化之间基本没有相关关系(Guyodo *et al*, 1999; Kent, 1982; Zhu *et al*, 1994)。Yamazaki 及其小组(Yokoyama *et al*, 2000)对太平洋地区 5 个岩芯 700 ka 来的 RPI 记录进行了研究, 通过小波分析得到了准 100 ka 的周期, 并认为轨道周期或气候变化可能为自持的地磁场发电机系统提供能量。从作者的结果看, 相对强度与表征气候变化的 χ 、 $SIRM$ 、 S_{300} 、 $SIRM/\chi$ 、 $ARM/SIRM$ 等指标没有相关关系。而作者得到了 RPI 的 58 ka 周期成分, 这个周期可能是偶然的, 并非地磁场的本质属性, 也可能是和轨道周期有因果关系的。如果两者有因果关系, 则可能反映出地磁场的变化受到轨道周期或气候变化的驱动。58 ka 周期可能是 23 ka 的岁差周期和 41 ka 倾斜度周期之间非线性的竞争关系所产生($1/23 - 1/41 = 1/52$)。进一步利用岩石磁学手段从沉积物中识别气候环境和地磁场强度对磁学参数的贡献是个值得研究的问题。另外, 地球磁场强度的变化是地球内部动力学过程的结果, 研究地磁场的相对强度对于理解地球内部发生的物理过程有重要意义, 但是长时间尺度的相对强度数据在目前还比较缺乏。

3 结论

本文柱状沉积物中的磁性矿物以低矫顽力的磁铁矿为主, 磁性矿物的颗粒较细, 粒度均一, 浓度变化不大, 通过退磁得到可靠稳定的特征剩磁, 从方向数据上看布容正极性期和松山反极性期界线明晰, 能够记录松山期内的贾拉米洛和奥都威正极性事件。柱状沉积物的磁化率、饱和等温剩磁和非磁滞剩磁都可以作为相对强度归一化的参数, 通过谱分析, 选择非磁滞剩磁归一 25 mT 退磁后的天然剩磁。相对强度与表征磁性矿物种类、含量、粒度的岩石磁学参数没有相关关系。相对强度曲线呈不对称锯齿状, 在极性转换和漂移期有显著低值, 极性转换前强度不断降低, 而倒转后则得以迅速重建, 布容/松山转换期表现单 DIP 特征。相对强度曲线可以与全球记录对比, 因此可以作为区域地层划分和对比的依据。

致谢 样品由“科学一号”2003 冬季航次的全体船队员采集, 在样品测试过程中得到了青岛海洋地质研究所刘健研究员的指导和中国科学院地质与地球物理研究所秦华峰博士及中国地质大学李海燕博士的热情帮助, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- Channell J E T, Hodell D A, Lehman B, 1997. Relative geomagnetic paleointensity and $\delta^{18}\text{O}$ at ODP983(Gardar Drift, North Atlantic) since 350 ka. *Earth and Planetary Science Letters*, 153:103—115
- Channell J E T, Stoner J S, Hodell D A *et al*, 2000. Geomagnetic paleointensity for the last 100 kyr from the sub-antarctic South Atlantic: a tool for inter-hemispheric correlation. *Earth and Planetary Science Letters*, 175:145—160
- Christine F, Hofmann D, Tilo V D, 2004. Does lithology influence relative paleointensity records? a statistical analysis on South Atlantic pelagic sediments. *Physics and Chemistry of the Earth Interiors*, 147:285—296
- Dekkers M J, 1997. Environmental magnetism: an introduction. *Geologie en Mijnbouw*, 76:163—182
- Day R, Fuller M, Schmidt V A, 1977. Hysteresis properties of titanomagnetites: Grain-size and compositional dependence. *Physics Research*, 65: 2971—2977
- Evans M E, Heller F, 2003. *Environmental Magnetism: Principles and Applications of Environmagnetics*. California: Academic Press, 81—95
- Guyodo Y, Valet J P, 1996. Relative variations in geomagnetic intensity from sedimentary records: The past 200000 years. *Earth and Planetary Science Letters*, 143:23—36
- Guyodo Y, Valet J P, 1999. Global changes in intensity of the Earth's magnetic field during the past 800 kyr. *Nature*, 399:249—252
- Horng C S, Roberts A P, Liang W T, 2003. A 2.14 Myr astrophysically tuned record of relative geomagnetic paleointensity from the western Philippine Sea. *Journal of Geophysical Research*, 108:1—15
- Jaume D T, Leonardo S, Roberts A P, 2002. Relative geomagnetic paleointensity from the Jaramillo Subchron to the Matuyama/Brunhes boundary as recorded in a Mediterranean piston core. *Earth and Planetary Science Letters*, 194:327—341
- Kaushik K, Tauxe L, 2000. Effects of pH and salinity on the intensity of magnetization in redeposited sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 181:489—496
- Kent D V, 1982. Apparent correlation of palaeomagnetic intensity and climatic records in deep-sea sediments. *Nature*, 299:538—589
- Kirschvink J L, 1980. The least-squares line and planed analysis of paleomagnetic data. *Geophys J R Astr Soc*, 62:699—718
- Lehman B, Laj C, Kissel C *et al*, 1996. Relative changes in the geomagnetic field intensity during the last 280,000 years obtained from piston cores in the Acores area. *Phys Earth Planet Inter*, 93:269—284
- Loren K, Robert S, 1981. West side of the Parece Vela Basin[R]. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Projects, Volume LIX:320—335
- Liu J, Zhu R X, Roberts A P *et al*, 2004. High-resolution analysis of early diagenetic effects on magnetic minerals in post-middle-Holocene continental shelf sediments from the Korea Strait. *Journal of Geophysical Research*, 109:B03103
- Merrill R T, McFadden P L, 1999. Geomagnetic polarity transitions. *Rev Geophys*, 37:201—226
- Meynadier L, Valet J P, Weeks R *et al*, 1992. Relative geomagnetic intensity of the field during the last 140ka. *Earth and Planetary Science Letters*, 114:39—57
- Meynadier L, Valet J P, Bassinot F C *et al*, 1994. Asymmetrical saw-tooth pattern of the geomagnetic field intensity from equatorial sediments in the Pacific and Indian Oceans. *Earth and Planetary Science Letters*, 126:109—127
- Paul H, Tauxe L, 1996. A Precursor to the Matuyama/Brunhes Transition Field Instability as Recorded in Pelagic Sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 138:121—135
- Paul H, Tauxe L, Catherine C, 1993. Early Oligocene Geomagnetic Field Behavior From Deep Sea Drilling Project Site 522. *Journal of Geophysical Research*, 98:649—665
- Schneider D A, 1993. An estimate of late Pleistocene geomagnetic intensity variation from Sulu Sea sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 120:301—310
- Schulz M, Mudelsee M, 2002. RDEFIT: Estimating red-noise spectra directly from unevenly spaced paleoclimatic time series. *Computers and Geoscience*, 28(3): 421—426
- Stoner J S, Channell J E T, Hillaire M C, 2000. Geomagnetic paleointensity and environmental record from Labrador Sea core MD95-2024: global marine sediment and ice core chronostratigraphy for the last 110 kyr. *Earth and Planetary Science Letters*, 183:161—177
- Tauxe L, 1993. Sedimentary records of relative paleointensity of the geomagnetic field: Theory and Practice. *Rev Geophys*, 31:319—354
- Tauxe L, Wu G, 1990. Normalize remanence in sediments of the western equatorial Pacific: relative paleointensity of the geomagnetic field. *Journal of Geophysical Research*, 95:12337—12350
- Tric E, Valet J P, Atucholka P *et al*, 1992. Paleointensity of the geomagnetic field during the last 80000 years. *Journal of Geophysical Research*, 97(B6):9337—9351
- Valet J P, Meynadier L, 1993. Geomagnetic field intensity and reversals during the past four million years. *Nature*, 366:91—95
- Valet J P, Meynadier L, Guyodo Y, 2005. Geomagnetic dipole strength and reversal rate over the past two million years. *Nature*, 435:802—805
- Veronica W, Eugene W D, Miquel C *et al*, 2006. A high resolution relative paleointensity record from the Gerlache-Boyd paleo-ice stream region, northern Antarctic Peninsula. *Quaternary Research*, 66:1—11

- Wollin G, Ericson D B, Ryan W B F, 1971. Variations in magnetic intensity and climatic changes. *Nature*, 232:549—551
- Yamazaki T, Ioka N, 1994. Long-term secular variation of the geomagnetic field during the last 200 kyr recorded in sediment cores from the western equatorial Pacific. *Earth and Planetary Science Letters*, 128:527—544
- Yamazaki T, Ioka N, 1999. Relative paleointensity of the geomagnetic field during Brunhes Chron recorded in North Pacific deep-sea sediment cores: Orbital influence? *Earth and Planetary Science Letters*, 169:23—34
- Yamazaki T, Ioka N, Eguchi N, 1995. Relative paleointensity of the geomagnetic field during the Brunhes Chron. *Earth and Planetary Science Letters*, 136:525—540
- Yokoyama Y, Yamazaki T, 2000. Geomagnetic paleointensity variation with a 100 kyr quasi-period. *Earth and Planetary Science Letters*, 181:7—14
- Zhu R X, Gu Z Y, Huang B C *et al*, 1994. Geomagnetic Secular Variations and Climatic Changes since 15000-a-Bp, Beijing Region. *Science in China Series B-Chemistry Life Sciences & Earth Sciences*, 37:984—990

A GEOMAGNETIC PALEOINTENSITY RECORD OVER THE LAST 2Ma FROM THE EAST PHILIPPINE SEA

MENG Qing-Yong^{1,2}, LI An-Chun¹, JIANG Fu-Qing¹, XU Zhao-Kai^{1,2},
ZHU You-Sheng³, LI De-Peng⁴

(1. Key Lab of Marine Geological & Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China; 3. China Oilfield Services Limited, Tianjin, 300451, China; 4. National Marine Environment Monitoring Center, Da lian, 116023)

Abstract A detailed magnetic analysis has been conducted on the core F090102 from East Philippine Sea. Rock magnetic results demonstrate that the cores preserve a strong, stable remanent magnetization and meet the magnetic mineral criteria for reliable paleointensity analyses. Susceptibility (χ), anhysteretic remnant magnetization (*ARM*) and saturation isothermal remnant magnetization (*SIRM*) were used as the natural remanent magnetization normalizer. However, coherence analysis results indicates that only *ARM* is more suitable for paleointensity construction. The relative paleomagnetic intensity (*RPI*) record over the past about 2 Ma was obtained and was further compared to previously published stack records, SINT-800 and SINT-2000. Our new *RPI* record exhibits asymmetrical saw-tooth pattern of the geomagnetic field intensity and some major declines in paleointensity (*DIP*) at reversal boundaries as well as geomagnetic excursions. The Brunhes/Matuyama polarity transition was characterized by a single-*DIP* but not a double-*DIP*, it may be due to the low sedimentation accumulation rates. The record can be used to refine the chronological framework of the sediment in this region.

Key words Sediment, Relative paleomagnetic intensity, Geomagnetic field, East Philippine Sea