

南海ODP1148站深海相渐新统硅质成岩作用

房殿勇¹, 王汝建¹, 邵磊¹, 祁景玉¹, 汪品先¹, 池树根²

(¹ 同济大学海洋地质教育部重点实验室, 上海 200092; ² 渤海石油研究院, 天津 300452)

摘要: 南海ODP1148站分析结果显示, 井深475~600m的硅质化石主要表现为蛋白石-CT。随着深度增加, 硅质化石破裂率增大, 蛋白石-CT的X射线衍射峰强度减弱, 自生石英的衍射峰则相应增强, 反应了蛋白石-CT向石英的转变。井深620m附近, 硅质化石完全溶解, 蛋白石-CT衍射峰消失, 蛋白石-CT全部转变为石英。样品取心率从470m处的近100%降到485m处的8%, 可能是硅质成岩作用, 尤其是蛋白石-A向蛋白石-CT的转变影响所致。而取心率的降低, 则是此井未能观察到蛋白石-A/蛋白石-CT转变界线的部分原因。

关键词: 硅质成岩作用; 蛋白石-A; 蛋白石-CT; 石英; 渐新世; 南海

中图分类号: P736

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2002)02-0075-05

深海沉积中的燧石, 作为DSDP(深海钻探计划)早期主要发现之一, 不仅影响了DSDP早期一些站位的钻探^[1], 而且其物质来源也一直为海洋地质学家所关注^[2~5]。随着DSDP/ODP野外和室内研究的深入, 深海燧石主要来源于硅质化石壳体成岩(燧石化)变化的观点已被接受^[2~4]。其一般过程为: 结构不稳定的无定形壳体(蛋白石-A)溶解后, 部分重结晶为以方石英为主的蛋白石-CT, 蛋白石-CT最终转变为结晶度高、结构稳定的石英^[6~9]。沉积物矿物成分决定其物理性质^[10], 所以硅质成岩作用过程中物相转变必将对沉积物物理性质产生影响^[3, 7, 11]。如日本海ODP127/128航次发现, 蛋白石-A/蛋白石-CT的界线在地震剖面上表现为一条明显的反射层, 同时, 取心率、孔隙率、密度和其它地球物理测井曲线也有显著的变化^[11]。另一方面, 地球物理测井等反应的沉积物物理、化学性质在硅质成岩转变界线附近的变化, 又对我们了解蛋白石-A/蛋白石-CT和蛋白石-CT/石英之间的转变提供了帮助^[7, 11]。1999年春, ODP184航次在钻探南海1148站时发现, 取心收获率在井深475m附近由近100%急剧下降到8%, 同时, 在井深475~600m出现较高的生物硅质沉积^[12], 那么取心率突变是否与硅质成岩作用有关呢? 本文的目的是通过ODP1148

站井深450m之下生物硅质成岩作用的研究, 来探讨南海深海相硅质成岩作用及其对取心率和沉积物物性的影响。

1 材料和方法

1148站位于南海北部陆坡(18°30.17'N, 116°33.94'E), 水深3294m, 井深850.85m, 岩性均一, 多为钙质粘土。从井段450~850.85m共取200个样品作X射线衍射分析(XRD), 采样间距为40cm至9m不等。由于沉积物中碳酸钙含量较高(平均约40%), 因而, 首先用H₂O₂(35%)和HCl(5%)除去样品中的有机质和碳酸盐成分, 再制成粉末, 利用Philips PW 1700 X射线衍射仪进行分析。扫描条件为: CuK α 靶, 范围为3°~75°; 速度为0.05(°/s)。硅质生物化石的处理与制片方法见参考文献[13]。所有分析均在同济大学教育部海洋地质重点实验室完成。

2 结果与讨论

根据ODP184航次船上初步报告^[14]和航次后地层学研究结果(李前裕, 苏新, 未发表资料), ODP1148站井深372.22~850.85m的时代属渐新世—早中新世, 年龄约为33.5~17.3Ma。中新统底界约为460m, 上下渐新统界线大约在井深500.67m处, 年龄为28.5Ma。此前(井深475m)有一约1Ma的沉积间断和相当于约2Ma的混杂堆

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49999560); 国家重点基础研究专项经费资助项目(G2000078500)

作者简介: 房殿勇(1971—), 男, 博士生, 从事海洋地质和石油地质研究

收稿日期: 2002-04-12, 2002-04-26 改回 张光威编辑

积带。这次沉积间断还反应在化石的保存状况和磁化率等各种物理参数上^[14]。

硅质成岩作用随深度增大而趋于增强,但蛋白石-A与蛋白石-CT以及蛋白石-CT与石英之间在一定深度内共存^[11, 15]。因而,我们把蛋白石-CT衍射强度峰自上而下的初现深度定为蛋白石-A/蛋白石-CT的转变界面,蛋白石-CT衍射强度峰的末现深度定为蛋白石-CT/石英的界面。

1148站井深475 m以上缺乏硅质化石沉积,生源硅质沉积物主要发现于井深475~850.85 m。其中放射虫、硅藻和海绵骨针等主要发现于475~600 m,并集中于早、晚渐新世地层界线附近^[12]。XRD分析显示此井段所含矿物主要为石英、伊利石、蒙脱石、绿泥石、斜发沸石等。从477.39 m开始观察到蛋白石-CT的特征衍射峰,其 2θ 角为 19.6° (4.53 \AA)、 20.8° (4.27 \AA)、 21.78° (4.08 \AA),但强度值较小。同时,镜下观察到大量硅质化石存在,说明此深度范围为蛋白石-A和蛋白石-CT共存,而蛋白石-A/蛋白石-CT界线则在此深度之上。可见,随井深增加,蛋白石-CT衍射峰强度由强到弱,自生石英衍射峰强度则由弱到强,显示出硅质成岩作用过程中蛋白石-CT向石英的逐渐转化,其中 26.5° 为碎屑石英衍射峰(图1)。但我们在分析中并没有发现转

变界面,这可能与此深度范围内的沉积间断和样品取心率低有关。

477.39 m之下,随井深增加,蛋白石-CT的衍射峰强度逐渐增大,表明蛋白石-CT含量趋于增多。光学显微镜和扫描电镜观察均发现放射虫、硅藻和海绵骨针等硅质化石的壳体表面和内部有大量微球状的蛋白石-CT,说明硅质生物化石壳体结构、构造已遭受了溶解和重结晶作用的改造,其壳体成分已转变成具蛋白石-A假象的蛋白石-CT(图2)。斜发沸石是蛋白石-A向蛋白石-CT转变的中间产物,同时又是硅质成岩作用过程中的一个重要物相,在井深470 m以下普遍分布,其特征衍射 2θ 角分别为 9.8° (9 \AA)、 22.4° (4.0 \AA)、 22.8° (3.9 \AA)、 29.9° (3.0 \AA)。

值得注意的是,相应于蛋白石-A向蛋白石-CT的转变(燧石化),样品取心率也发生“跳跃”式变化,由463.62~473.33 m的95.3%急剧下降至485.32~489.92 m的最低值8%(图3)。日本海ODP127和128航次研究发现,样品取心率在蛋白石-A/蛋白石-CT界线之下明显降低是硅质成岩作用影响的结果^[11]。由于蛋白石-A向蛋白石-CT的转化(燧石化),岩性在大量软泥中局部出现结构致密的硬燧石夹层,这种软硬相间的岩性严重影响了钻井和取心

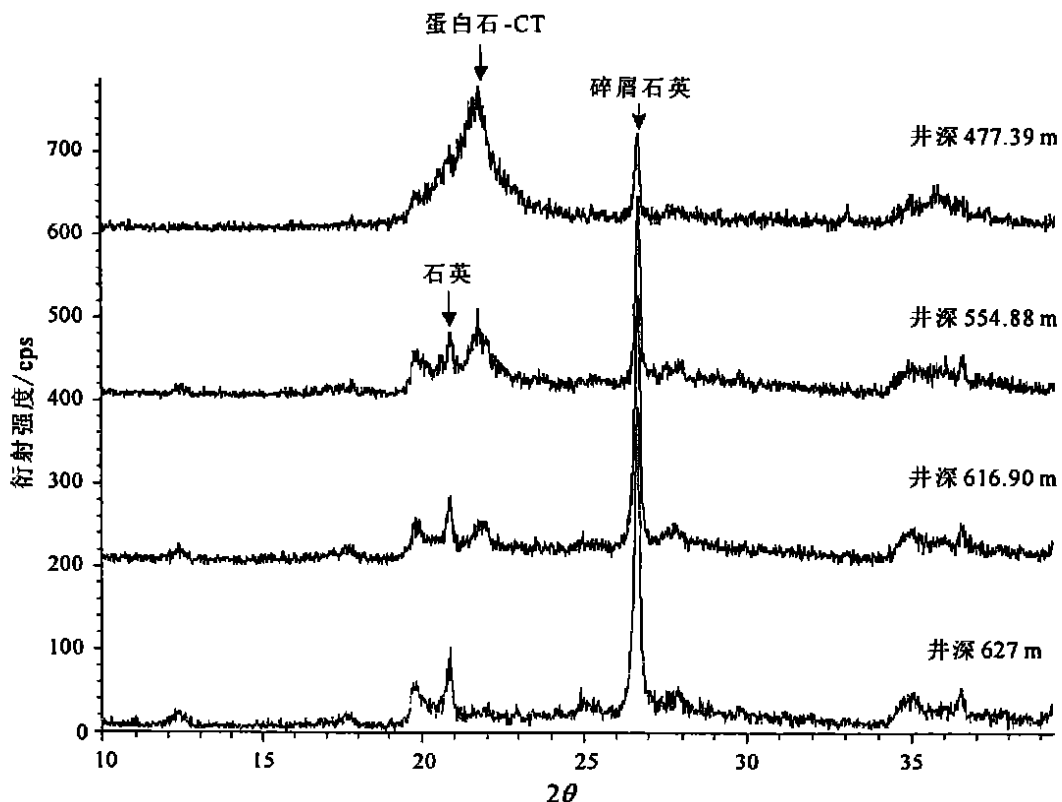


图1 ODP1148站XRD分析结果

Fig 1 X-ray diffractograms of ODP Site 1148

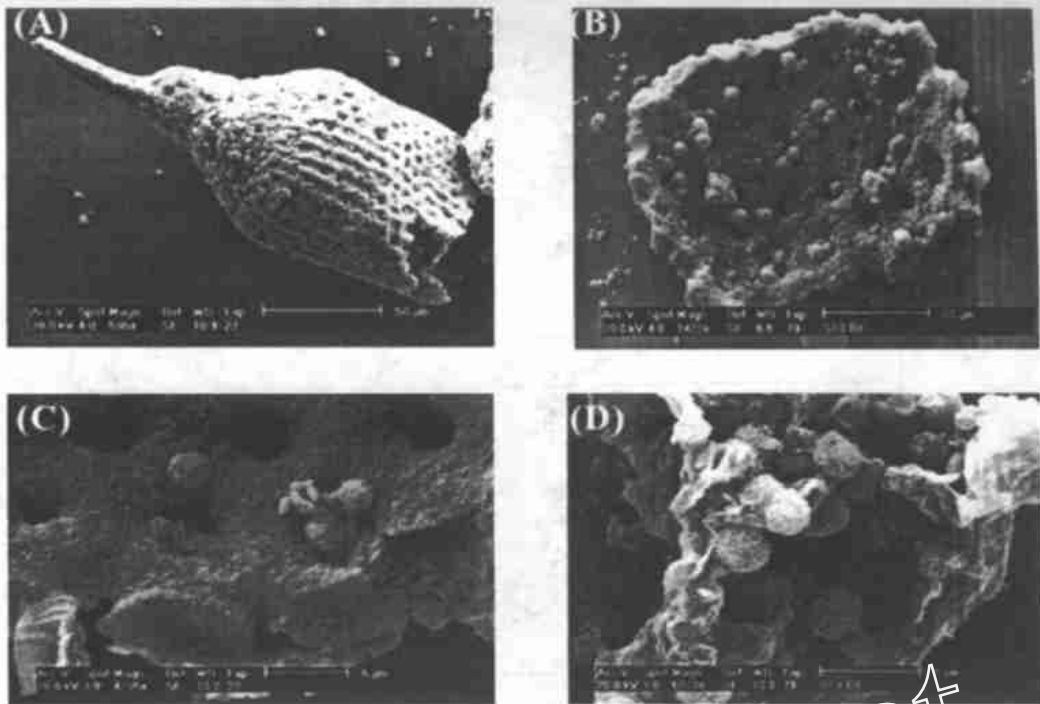


图 2 ODP1148 站井深 475~ 630 m 硅质化石样品扫描电镜观察结果

A: 已发生溶解和重结晶的放射虫壳碎片, 样品深度: 476.72 m; B: 放射虫壳体碎片, 壳体成分已为蛋白石-CT, 在壳孔中充填的为微圆球状蛋白石-CT, 样品深度: 489.94 m; C: 溶蚀的放射虫壳体, 成分已为蛋白石-CT, 可见壳内充填的微圆球状蛋白石-CT 和片状石英, 样品深度: 505.52 m; D: 微圆球状蛋白石-CT 和片状(微晶)石英, 样品深度: 476.72 m。

Fig. 2 SEM photographs from the depth range of 475~ 630 m, Site 1148

A. Radiolarian test reformed by dissolution and recrystallization, at depth 476.72 m; B. Radiolarian fragment in opal-CT, with opal-CT lepispheres common in the pores, at depth 489.94 m; C. Radiolarian fragment in opal-CT, with opal-CT lepispheres, at depth 505.52 m; D. Lepisphere opal-CT and flaky (microcrystalline) quartz, at depth 476.72 m

收获率, 造成取心收获率显著降低^[11]。在排除钻探技术和砂质岩性等其它诸多因素之后, 我们推测 ODP1148 站取心率的突变很可能与生源硅质沉积物的局部富集以及成岩作用有关。另外, 井深 475~ 600 m 之间厚层深色低阻夹白色高阻薄层的成像测井图像特点, 也表明这一段可能是泥岩与燧石夹层。而取心率降低又可能是我们没有观察到蛋白石-A 和蛋白石-CT 转变界线的部分原因。随着深度的增加, 燧石质含量降低^[12], 取心率又趋于增大。

本站蛋白石-A /蛋白石-CT 界线附近沉积物孔隙率增大, 样品容重和干容重相应降低, 这与通常的成岩作用所造成的孔隙率降低、容重增大截然不同(图 3)。大西洋 ODP669 站研究认为间断面附近孔隙率这种反常变化与上部沉积物中锰含量升高有关^[10]。1148 站上部虽然锰含量由 400 $\mu\text{g}/\text{g}$ 迅速增加到 2 000 $\mu\text{g}/\text{g}$, 但突变深度在间断面之上近 20 m, 同时, 间断面上下化石保存状况、地球化学指标等也明显不同, 说明间断面较为复杂, 影响孔隙率变化的因素较多。

井深 495.87 m 向下, 蛋白石-CT 衍射强度峰逐渐降低, 自生石英的衍射峰升高, 反应有越来越多的蛋白石-CT 向石英转变(图 1)。同时, 镜下发现硅质生物化石碎片逐渐增多, 破壳率相应增大。井深 620 m 以下的样品, 显微镜和扫描电镜均未发现放射虫、硅藻和海绵骨针的碎片^[12], 说明此深度以下硅质化石已完全溶解, 蛋白石-CT 已经转变成为石英。

在蛋白石-CT 向石英转变界线附近, 沉积物孔隙度由 44.9% 降低到 35.1%, 容重和干容重则分别从 1.924 和 1.464 g/cm^3 增加到 2.109 和 1.750 g/cm^3 , 但没有明显突变, 其它地球物理测井曲线变化也不显著, 原因可能与沉积物中矿物成分的改变以及硅质含量降低有关。

韦刚健等 27 Ma 左右南海沉积物元素地球化学组成的突变: 成岩作用蚀变及沉积环境变化, 中国大洋钻探第三届学术会议摘要集, 2001。

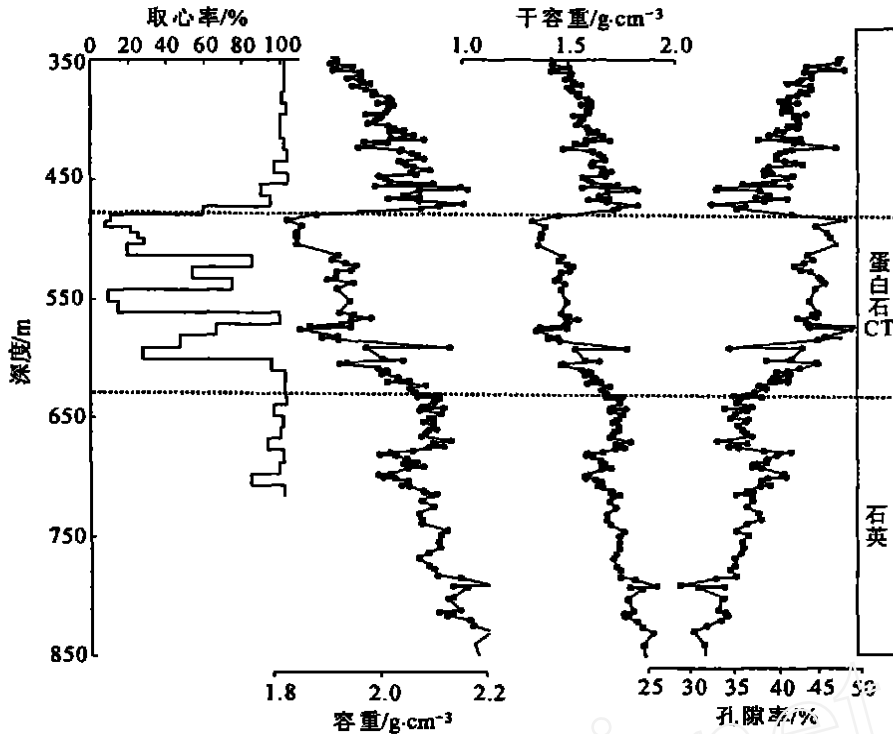


图3 南海ODP1148站沉积物孔隙度、容重和干容重的垂向变化
图中虚线分别指示沉积缺失段和蛋白石CT/石英界线

Fig 3 Depth plots of porosity, density and dry density at Site 1148
The dash lines indicate the hiatus and the opal-CT/quartz boundary respectively

3 小结

1148站的分析表明生源硅质成岩作用,尤其是蛋白石-A向蛋白石-CT的转变,使得在大量软泥中出现硬的燧石夹层,这种软、硬相间的岩性可能是样品取心率发生突变的原因。而取心率的降低,则是无法观察到蛋白石-A/蛋白石-CT转变界线的部分原因。随井深增加,硅质成岩作用增强,蛋白石-CT向石英转变。在蛋白石-CT/石英界线附近,沉积物孔隙率和容重及其它测井曲线变化不明显,原因可能与沉积物中矿物成分的改变以及硅质成分含量降低有关。

参考文献

- [1] Kennett J P. Marine Geology [M]. Prentice-Hall, 1982. 1-813
- [2] Wise SW, Weaver FM. Chertification of oceanic sediments [J]. *Spec. Publ. Int. Assoc. Sediment.*, 1974, 1: 301-326
- [3] Little R, Fourtanier E, Thurow J, et al. Silica diagenesis and its effects on lithification of Broken ridge deposits, central Indian Ocean [A]. *ODP Sci. Results* [R], 1991, 121: 261-272
- [4] Lanceot Y. Chert and silica diagenesis in sediments from the central Pacific [A]. *DSDP Init. Repts.* [R], 1973, 17: 517-559
- [5] Heath GR, Moberly R Jr. Cherts from the western Pacific, Leg 7, Deep Sea Drilling Project [A]. *DSDP Init. Repts.* [R], 1971, 16: 991-1007
- [6] Kastner M. Authigenic silicates in deep-sea sediments: formation and diagenesis [A]. Emilian C ed. *The Sea (Vol. 7): The Oceanic Lithosphere* [M]. New York (Wiley), 1981. 915-980
- [7] Linger GJ, Packham GH. Relationships between diagenesis and physical properties of biogenic sediments of the Ontong-Java Plateau (sites 288 and 289), deep-sea drilling project [A]. *DSDP Init. Repts.* [R], 1975, 30: 443-482
- [8] Williams L, Cerar D. Silica diagenesis, I Solubility controls [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1985, 55(3): 301-311
- [9] Williams L, Cerar D. Silica diagenesis, II General mechanism [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1985, 55(3): 313-321
- [10] Nobes DC, Mienert J, Dirksen GJ. Lithogenic control of physical property interrelationships [A]. *ODP Sci. Results* [R], 1991, 114: 657-669
- [11] Nobes DC, Murray RW, Kuramoto S, et al. Impact of silica diagenesis on physical properties variations [A]. *ODP Sci. Results* [R], 1992, 127/128, Part 1: 3-31
- [12] 王汝建, 房殿勇, 邵磊, 等. 南海北部陆坡渐新世的蛋白石沉积 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 2001, 31(10): 867-872

- [13] Abehmann A, Brathauer U, Gersode R. Radiolarian-based transfer function for the estimation of sea-surface temperatures in the Southern Ocean (Atlantic sector) [J]. *Paleoceanography*, 1999, 14(3): 410-421.
- [14] Wang P, Prell W, Blum P, et al. Proceeding of the Ocean Drilling Program, *Init Rept* [R]. College Station TX (Ocean Drilling Program) [CD-ROM], 2000, 184.
- [15] Pisciotto K A. Diagenetic trends in the siliceous facies of the Monterey Shale in the Santa Maria region, California [J]. *Sedimentology*, 1981, 28: 547-571.

SLICA DIAGENESIS OF DEEP-SEA Oligocene AT ODP SITE 1148, THE SOUTH CHINA SEA

FANG Dian-yong¹, WANG Ru-Jian¹, SHAO Lei¹, QI Jing-yu¹, WANG Pin-xian¹, CHI Shu-gen²

¹Laboratory of Marine Geology, MOE, Tongji University, Shanghai 200092, China;

²Bohai Oil Research Institute, Tianjin 300452, China)

Abstract X-ray diffraction and scanning electron microscopy analyses were performed on 200 samples taken from the deep-sea Oligocene sediments between core depth 450 m and 850 m at ODP Site 1148 in the northern South China Sea. The results show that the opal-A of siliceous fossils has been transformed into opal-CT in the interval between 475 m and 600 m. With the depth increasing, the fragmentation of siliceous fossils increased, the X-ray peaks of authigenic quartz became more prominent and the X-ray peaks of opal-CT reduced in intensity, indicating the occurrence of the opal-CT in quartz transformation in this interval. The opal-CT intensity peak disappeared in samples below 600 m, suggesting that the opal-CT had been completely transformed into quartz. The abrupt decrease in core recovery from near 100% above 470 m to 8% in the interval of 470~485 m at Site 1148 is likely to be related to the silica diagenesis, particularly to the transformation of opal-A to opal-CT. The opal-A/opal-CT boundary, however, has not been determined in this work mainly due to the poor core recovery.

Key words silica diagenesis; opal-A; opal-CT; quartz; Oligocene; the South China Sea