东太平洋表层沉积物中热水矿物组合的发现及其意义*

周怀阳[1,2]　叶　瑛[3]　沈忠悦[3]　倪建宇[1,2]　潘建明[1,2]

([1]国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012)
([2]国家海洋局海底科学重点实验室 杭州 310012)
([3]浙江大学地球科学系 杭州 310027)

关键词　东太平洋,表层沉积物,自生重晶石,自生钠长石,热水矿物组合

提要　对东太平洋表层沉积物的扫描电镜观察表明,样品中除陆源碎屑和生物壳体外,存在着一组特征性的石英-钠长石-重晶石自生矿物组合。它们均呈完好自形晶,显然未经历过明显的搬运,都是原地形成的自生矿物。X射线衍射分析进一步确认了这组矿物的存在。迄今为止自生钠长石主要见于埋深较大的储层砂岩,其结晶温度不低于70 ℃,是一种典型的热水成因矿物。而同样完整晶形的重晶石曾在加利福尼亚湾 Guaymas 盆地被发现,并被确认属热水成因。作者据此认为,存在于东太平洋表层沉积物中的自生石英-钠长石-重晶石属于热水矿物组合。这意味着在远离洋中脊的大洋盆地亦有一定规模的热水活动,它对深海成矿作用和全球环境、尤其是长周期气候变化等的影响值得重视。

研究区位于东太平洋 Clarion-Clipperton 断裂带之间、铁锰多金属结核成矿带的西部,由地理坐标大致为141°W~144°W,7°N~10°N和153°W~155°W,8°N~12°N的东、西两区组成。区域内除少量海山之外,海底地形相对平坦。海底水深一般在4 800~5 200 m之间,局部可深达5 300~5 400 m或浅至4 500~4 600 m,绝大部分区域都处于4 400~4 800 m的碳酸钙补偿深度(CCD)之下。全区95%以上的表层沉积物为硅质软泥或以硅质软泥为主。已有的研究表明,研究区的沉积物主要由黏土矿物、硅质生物碎屑和钙质生物碎屑3类组份构成。在重砂中也曾发现过个别重晶石等特殊矿物[1],但未作过深入研究。作者通过对1997年"海洋四号"科考船和1998年"大洋一号"科考船在研究区采集的短柱状沉积物样品进行系统地矿物学分析,发现了通常仅见于热水环境的自生矿物组合。由于该地区远离洋中脊或弧后盆地,至今尚未发现有活动性岩浆活动,希望这一发现能对全面认识该地区的热水活动及其热水活动对大洋成矿作用、洋壳与海水之间的能量交换等重要意义的研究起到抛砖引玉的作用。

1　样品和方法

沉积物样品用内径为9.5 cm的多管采样器和50 cm×50 cm的箱式采样器分别在研究区东、西两区海底采集。样品长度一般为20~45 cm。采上甲板之后一般以1~3 cm的间隔分割成供分析用的子样。在实验室中,一共对16个站位的短柱状沉积物顶部0~3 cm的表层沉积物样品(站位号见表1)进行了下列两项主要的观察和测试:(1)带能谱仪的 Philips XL20型扫描电镜(SEM-EDS)观察。将小块尚未完全脱水、仍具可塑性的样品在冷冻状态下真空干燥。然后用导电胶把样品粘在样品托上,样品连同基托镀金,置于干燥器中待测。(2) Siemens D 5000型X射线衍射仪分析(XRD)。首先将沉积物样品经60 ℃烘干、研磨后制成非定向片。衍射测定条件为:Co靶 Kα 衍射线,测角仪半径21.75 cm,防发散狭缝和接收狭缝分别为7.3 mm和2.3 mm。衍射线束过石墨单色器。步进扫描范围为2~75°2θ,步长0.02°2θ,每步计数1 s。X光管工作电压40 kV,电流30 mA。

沉积物的相对矿物含量系用 Cheng 1974年公式计算得到,即:

$$X_i = (K_i / I_i) \cdot \Sigma(I_i / K_i) \qquad (1)$$

式中 X_i 为矿物 i 在样品中的含量。I_i 为 i 特征性衍射峰的积分强度。K_i 为 i 与标准矿物(常为刚

* 中国大洋协会 DY95-06-03 课题和国家973计划资助项目2000078500号。
本文的 XRD 和 SEM 在英国 Macaulay 土地利用研究所完成。对 S. Hillier 和 M. Roe 博士以及有关人员提供的各项帮助表示衷心感谢。
收稿日期:2000-11-04;修回日期:2001-02-10

玉) 按各占 50 %比例混合后测定的积分强度比。

2 结果和讨论

2.1 基本矿物组成与特征

在扫描电镜下, 根据矿物的形态与显微结构特征, 可以在沉积物中识别出 3 类组份: 一类为碎屑矿物, 包括陆源碎屑与火山碎屑, 前者有不同程度的磨圆, 后者呈碎裂状, 主要为长英质和黏土矿物; 第 2 类为生物硬体部分, 以硅藻和放射虫类生物残骸为主, 部分保存完好, 形态各异。特别在 6056 和 5931 站位上该类组分较为丰富。偶见有成份为磷灰石质的鱼类牙齿和骨骼; 第 3 类组分在扫描电镜下呈完整晶形, 各面、角、棱均保存完好 (见图 1 ~ 2), 显然未经过任何搬运, 可以确认为是原地形成的自生矿物, 这类矿物包括钠长石、石英和重晶石等。

基于 X射线衍射结果计算得到的沉积物矿物成分见表 1。其中 Tri-clay 指三八面体黏土矿物, Di-clay

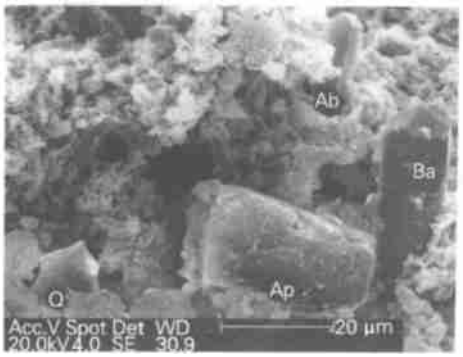

图 1 表层沉积物中自生矿物组合

Q: 石英; Ab: 钠长石; Ba: 重晶石。Ap 为生物骨屑, 成分为磷灰石。编号: 5884-2

Fig.1 Authigenic mineral assemblage found in the surface sediment

Q: Quartz; Ab: Albite; Ba: Barite. Ap is apatitic bioclast. Number: 5884-2

为二八面体黏土矿物, 二者含量分别依据 4.63 Å和 4.45 Å峰的衍射强度计算得到。沉积物的黏土矿物组合将另文讨论。虽然硅质生物骨骼和火山灰等非晶相物质在部分样品中有较高含量, 但在表 1 中未将它们的数据包含在内。NaCl 的含量亦未计入。此外, 样品中常见有方英石 (Cristobalite) 的 4.05 Å衍射峰, 由于其含量较低, 且缺乏衍射常数, 故未参与含量计算。个别样品中还含少量沸石类矿物 (Heulandite)。

表 1 数据显示, 在沉积物样品中除粘土矿物以及硅藻等生物骨骼碎屑外, 其他常见矿物有石英、钠长

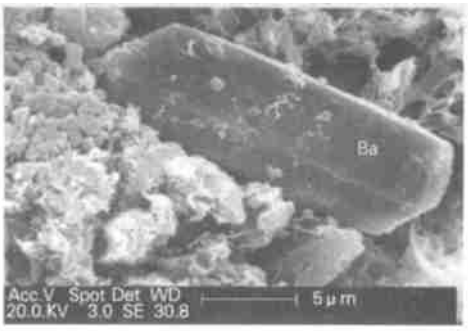

图 2 表层沉积物中的自生重晶石 (Ba)

左上方片状矿物为陆源高岭石。编号: 5884-1

Fig.2 Authigenic barite (Ba) found in the surface sediment

Tabular minerals in the upleft are terrigenous kaolinite. Number: 5884-1

石和重晶石。本次研究发现, 重晶石可以说是研究区内沉积物中的特征性矿物。在几乎所有样品中都有重晶石的 3.10 Å衍射峰存在 (其 3.32 Å最强峰与石英 3.34 Å主衍射峰部分重迭), 尽管其含量变化较大, 在不同沉积物样品中的含量可从 1 %左右变至 10 %以上。

2.2 关于特征性矿物组合热水成因的讨论

通过扫描电镜观察和 X射线衍射分析得出, 不但晶形完整的自生矿物重晶石常见于研究区表层沉积物中, 而且重晶石还常与晶形同样较好的石英和钠长石等共同出现于很小的视域 (在图 1 中约 60 μm) 范围内, 显示其特征性的石英 - 钠长石 - 重晶石矿物组合。重晶石是大洋沉积物中最常见的自生矿物之一。A. Paytan 和 M. Kastner 1996 年指出, 在赤道及其附近海域, 钡的再循环率约为 70 %, 即大约有 30 %的钡通量留在海底沉积物中。富集在沉积物中的钡是重晶石的物质来源, 但自生重晶石的结晶环境却可因地而异。相关报道有:

(1) N. Fagel 等人[4]在印度洋盆地中部沉积物中发现有两种产状的重晶石。一种为微粒球状集合体, 类似于草莓状构造; 另一种为菱形集合体。前者被认为属生物成因, 而后者经历了几个不同的溶解 ~ 沉淀阶段, 属成岩成因。

(2) H. H. Roberts 等[5]和 M. E. Torres 等 1996 年分别在墨西哥湾北部和秘鲁陆架中部发现有大量重晶石与海底冷泉及烃类流体渗漏伴生, 其结晶形态为类似于层解石的片状集合体。

(3) A. A. Sturz 等 1996 年在加利福尼亚湾东太平洋隆延伸处, 发现重晶石沉淀与热水活动有关。重

表 1 表层沉积物样品的矿物组成①

Tab.1 Mineral compostion of the surface sediment samples

站位	Tri-clay	Di-clay	石英	钾长石	斜长石③	重晶石
5884-r	21.4	48.2	2.6	11.3	6.1	10.5
5922bc	13.4	47.8	2.9	17.6	4.4	13.9
5931	19.4	53.4	5.1	10.9	8.4	2.8
5960	23.2	33.7	11.5	18.3	11.7	1.7
6056	18.1	43.7	3.3	16.5	5.7	12.7
ES9801	28.1	40.3	9.2	11.8	7.2	3.4
ES9806	24.6	46.4	10.5	5.2	9.1	4.2
ES9808-2	14.5	44.0	11.1	12.2	11.6	6.6
ES9808	23.0	49.9	14.5	5.4	5.8	1.4
W9581	16.4	42.4	12.8	13.3	13.5	1.7
W9583②	28.9	45.1	3.9	15.5	4.9	1.8
W958-3②	23.9	54.9	2.5	10.3	4.8	3.6
WS9802	10.5	47.5	21.3	10.9	8.7	1.2
WS9806	6.3	50.1	14.9	14.2	13.3	1.3
S5864	16.1	42.1	15.0	17.0	8.0	1.8
Y9583②	20.4	47.2	6.7	20.9	4.9	0.0

①由(1)式计算得到的重量百分比;少量方英石、沸石类矿物未计入。②非晶相组分含量较高。③主要成分为钠长石。

晶石主要分布在 140 ~ 250 cm 和 > 790 cm 两个层位,分别对应于岩床侵入体及较深部的岩浆活动。它们认为重晶石是由含钡热液与含硫酸根海水(孔隙水)相遇沉淀而成。

因此,能导致自生重晶石形成的地质作用包括:生物作用、成岩作用、冷泉和热水作用,不同成因的重晶石在结晶形态上有很大的不同。本次研究在东太平洋表层沉积物中见到的重晶石主要为体积较大的板条状、柱状单晶体,它显然不属于生物成因,与成岩及冷泉作用形成的菱形及片状集合体亦有明显差别。此外,冷泉作用主要见于油气资源丰富的大陆架,而在深海盆地尚无报道。综合考虑地质背景与重晶石标型特征两方面因素,基本上可以确认本区沉积物中的自生重晶石属热水成因。当然这种热水可以是被海底下一定深度热源驱动或影响的海水,而钡可以原先是生源的并呈分散状态浸染于沉积物中,在受到热水的淋滤作用后被局部富集。

与重晶石的多成因可能性相比,上述特征性组合中的钠长石是一种比较典型的热水(热液)成因矿物。据文献报道,自生钠长石[2,3]主要出现于埋深较大的储层砂岩,如挪威北海油田的中生界砂岩以及塔里木盆地若干油田的中新生界砂岩之中。尽管产状各异,不同研究者根据理论计算与实际观察得出的共同结论是,自生钠长石的形成温度始于 60 ~ 75 ℃,主要形成于 90 ~ 110 ℃。在本研究区表层沉积物中发现自生钠长石尚未见报道,但参考上述前人认识,该矿物组合中的钠长石结晶温度应不低于 70 ℃。

石英的结晶温度变化较大,但无论是在地质环境还是实验环境中,石英晶体在液相中的规模性沉淀,要求有比室温高得多的温度条件。鉴于相关海区正常底层水温仅为 0 ~ 2 ℃,表层沉积物中所见到的自生石英应和热水活动有关。

3 结论及意义

作为本文的结论,作者认为,在东太平洋洋底沉积物中存在石英-钠长石-重晶石的自生矿物组合,该矿物组合属热水成因,其形成温度不低于 70 ℃。这一发现意味着,在远离洋中脊的东太平洋深海盆地,存在着类似于现代板块扩张中心或弧后盆地的热水活动。在目前研究程度下,作者尚无法确定相关热事件的性质。有关的热源可推测为尚未完全冷却的玄武质洋壳或某处海底下伏的地幔热流。从现有资料来看后者的可能性更大,因为表层沉积物中重晶石的富集在区域上较为局限。在此次经 XRD 分析的 16 个站位的表层沉积物样品中,仅有 3 个站位的部分样品中重晶石含量超过 10%,绝大多数样品中其含量均小于 5%。导致在沉积物中富集重晶石等矿物的热水活动的热源,很可能是点状的地幔上升热流,而非面形的冷却中的玄武质洋壳。

在本研究区内,海底热水活动的存在具有两方面的重要意义。一是成矿意义,它对分布在大洋盆地的锰结核,以及海山区的富钴结壳矿床的物质来源和成因可能有一定贡献;二是环境意义,海底热水活动对海底生态系、深海水柱上的能量和物质结构具有明显的影响,并进而可能作用于全球气候。应该注意表层水团的温度异常(如厄尔尼诺现象)是否与深海底热水活动有内在的联系。因此,必须对本研究区及其他深海盆地沉积物中的热水活动记录给予高度重视,并组织人力物力加以深入的研究。

主要参考文献

1 金翔龙主编。东太平洋多金属结核矿带海洋地质与矿床特征。北京:海洋出版社,1997。443

2 叶 瑛、沈忠悦、郑丽波等。高校地质学报,1999,5(3):71 ~ 79

3 叶 瑛、沈忠悦、郑丽波等。浙江大学学报(理学版),

2000, **27**(3): 307 ~ 314
4 Fagel N., Andre L. and Debrabant P.. *Geochimca et Cosmochimica Acta*, 1997, **61**(5): 989 ~ 1 008
5 Roberts H. H. And Carney R. S.. *Economic Geology*, 1997, 92: 863 ~ 879

THERMAL-WATER MINERALS FOUND IN THE SURFACE SEDIMENTS OF EAST PACIFIC AND ITS SIGNIFICANCE

ZHOU Huai-yang[1,2] YE Ying[3] SHEN Zhong-yue[3] NI Jian-yu[1,2] PAN Jian-ming[1,2]
([1] *Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou*, 310012)
([2] *Key Laboratory of Submarine Geoscience of State Oceanic Administration, Hangzhou*, 310012)
([3] *Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou*, 310027)

Received: Nov., 4, 2000
Key Words: East Pacific, Surface sediments, Authigenic barite, Authigenic albite, Thermal-water minerals

Abstract

XRD analyzing on the surface sediments from the East Pacific found that there is an identical assemblage of quartz, albite and barite in most samples. Under SE an euhedral crystal structure appears in the most samples, which shows that they have been without considerable transpartatin and can be regarded as authigenic minerals in situ. Up to now, authigenic albite is mainly found in reservoir sandstone in great depth, with a crystalline temperature above 70 ℃. Barite with similar idiomorph has been reported in the Guaymas Basin, California, and been confirmed with hydrothermal origin. For these reasons, the authors believe that the authigenic quartz-albite-barite found in the surface sediment from East Pacific is a typical thermal-water assemblage. This means that in the ocean basin far away from the mid-ocean ridge there is thermal water activities with certain scale, which may have some impacts on the global environment, especially the long cycle climate changes.

(本文编辑:李本川)