

硅质岩中的硅同位素 ($\delta^{30}\text{Si}$) 应用于 沉积相分析的新尝试

宋 天 锐

(中国地质科学院地质研究所,北京)

丁 悌 平

(中国地质科学院矿床研究所,北京)

关键词 硅质岩、硅同位素、沉积相分析

应用碳 ($\delta^{13}\text{C}$)、氧 ($\delta^{18}\text{O}$) 和硫 ($\delta^{34}\text{S}$) 同位素研究沉积相和沉积环境已为人们所熟知,然而,对于作为构成沉积岩主要元素之一的硅的同位素研究还很罕见。硅元素有三种主要的稳定同位素,即 ^{28}Si (92.27%)、 ^{29}Si (4.68%) 和 ^{30}Si (3.06%)。50年代以来,Renold 和 Verhoogen (1953)、Allenby (1956) 和 Tilles (1961) 等就开始研究硅同位素;70年代以来,Epstein 和 Taylor (1970)、Epstein 和 Yeh (1977) 以及 Clayton 等 (1978, 1986), 还有 Douthitt (1982) 等人,又分别研究了陨石和地球上的矿物和岩石的硅同位素^[1]。但是,硅同位素的测定方法难度较大,要求测试仪器的精确度颇高,所以至今为止,硅同位素应用于沉积相分析尚未普及。作者最近采取了20余种已知沉积相的典型硅质岩样品,试图由已知沉积相的硅质岩中的 $\delta^{30}\text{Si}$ 测定值的分布规律,论证硅同位素在沉积相分析中的应用前景。从已获得的数据来看,测定硅质岩中硅同位素 ($\delta^{30}\text{Si}$) 的分配规律,可被认为是沉积相分析或沉积环境解释的新途径。

一、硅质岩样品的主要类型

本文采用了放射虫硅质岩、燧石层、硅化藻席岩、硅化核形石岩以及燧石结核。代表形成于沉积阶段的硅质岩(放射虫岩),属于第一种类型;第二种类型是形成于早期成岩阶段的硅质岩(燧石层、硅化藻席和硅化核形石);第三种是晚期成岩阶段类型(燧石结核)。

以前认为放射虫硅质岩都是深海沉积岩,后来发现放射虫硅质岩包括两类:一类是地槽型硅质岩,代表深海沉积;另一类是地台型放射虫硅质岩,代表半深海沉积^{[2]*}。

成层的燧石层、硅化藻席岩和硅化核形石岩,代表同生沉积阶段或早期成岩阶段在弱碱水环境中形成, pH 为 7—9, 这是有利于非晶质 SiO_2 沉积并交代藻席和核形石的条件^[3]。硅化藻席岩可以被地震-海啸的风暴扰动成为板刺状角砾岩出现在浅海或潮下带^[4]。

燧石结核一般形成于晚期成岩阶段,可出现在浅海环境潮下带至潮上带萨布哈环境,有时也可出现在陆内泻湖中^[5]。

本文 1989 年 3 月 13 日收到。

* Song Tianrui et al., Abstracts. IGCP-Project 224, 1988, 108—110.

二、硅同位素分析方法

样品中硅同位素的组成是用 MAT-251EM 型质谱仪测定 SiF_4 而获得的,抽提样品中的硅和制备 SiF_4 的方法已在丁悌平等^[1]的另一文中详加介绍。简言之,正常的氧化硅或硅酸盐可以直接进行氟化而产生 SiF_4 , 采用 BrF_3 加以反应而完成;然而,当样品含有杂质,如硫、碳和硼等的化合物时,则必须在氟化以前加以预先处理, SiF_4 的制备是在金属真空系统中进行的^[1]。质谱分析时对质量为 87 和 85 的离子同时收集, $\delta^{30}\text{Si}$ 的分析结果是按 NBS-28 相对标定的。

$$\delta^{30}\text{Si}(\text{‰}) = \frac{(^{30}\text{Si}/^{28}\text{Si})_{\text{样品}} - (^{30}\text{Si}/^{28}\text{Si})_{\text{标样}}}{(^{30}\text{Si}/^{28}\text{Si})_{\text{标样}}} \times 10^4$$

$\delta^{30}\text{Si}$ 测定值精确度为 $\pm 0.1\text{‰}$ 。

三、不同沉积环境岩石的硅同位素分布类型

根据采取的 20 个样品(表 1)可看出: $\delta^{30}\text{Si}$ 值在深海、半深海和浅海沉积环境中的岩石里似乎是有规律的。作者提出有两类硅同位素的分布类型,即:一类是洋壳型;另一类是陆壳型。洋壳型硅同位素的分布是以地槽型放射虫岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为代表(图 1)。地槽型放射虫岩和硅质岩的特征是包括蛇绿岩、枕状玄武熔岩和放射虫岩组合,代表深海沉积环境,大多数的地质产状中,地槽型放射虫岩是覆盖于玄武熔岩之上,或者与混杂岩或堆积岩伴生,有时也可出现在浊积序列中。这种类型的放射虫岩形成于 4000m 以下,即 CCD 面以下;因此在硅质岩中很少或缺乏碳酸盐杂质;此外,大多数的放射虫岩由于洋底氧化作用而呈红色。

洋壳区域的地槽型放射虫岩和硅质岩具有最低的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值,平均为 0.16;然而,由于放射虫化石是一种浮游生物,可漂浮在大洋的不同地方并沉积到洋底,因而其 $\delta^{30}\text{Si}$ 的数值也随地

表 1 若干硅质岩数 $\delta^{30}\text{Si}$ 测定值

编号	岩石名称	产地	时代	$\delta^{30}\text{Si}$ 值平均	伴生岩石	环境		
€-13a	红色放射虫岩 ¹⁾	祁连山	€ ₁	-0.6	位于蛇绿岩之上 与蛇绿岩共生 与混杂岩共生 与混杂岩共生 位于玄武岩层之上 与蛇绿岩共生 与蛇绿岩共生 与蛇绿岩共生	深海		
€-13b	淡红色硅质层 ¹⁾	祁连山	€-O	-0.3				
T-11	红色放射虫岩 ¹⁾	东昆仑山	T-J	-0.3				
C-5	褐色硅质层 ²⁾	西昆仑山	C	0.2				
€-12a	红色放射虫岩 ¹⁾	祁连山	€	0.7				
€-12b	红色硅质层 ²⁾	祁连山	€	0.2				
J-1	红色放射虫岩 ¹⁾	西藏	J ₁₋₂	0.8				
J-2	红色硅质层 ¹⁾	西藏	J ₁₋₂	0.6				
P-24a	黑色放射虫岩	湖北	P ₁	0.6			与菱铁矿共生 与石灰岩共生 与石灰岩共生 与石灰岩共生	半深海
P-24b	黑色放射虫岩	湖北	P ₁	0.1				
D-27	黑色放射虫岩	广西	D ₃	0.6				
P-28	灰色放射虫岩	广东	P ₂	0.3				
W-4	硅化藻带岩	北京	Ptw	3.4	小柱叠层石 与叠层石白云岩共生 与叠层石白云岩共生 与叠层石白云岩共生 与叠层石白云岩共生 与淡红色泥质白云岩共生 在含石膏层的石灰岩中 在石灰岩中具热液脉	浅海(及/ 或早期成 岩) (晚期成岩 阶段)		
W-3	板-刺状硅化角砾	北京	Ptw	2.8				
G-7	硅化核形石	北京	Ptg	2.4				
D-3	硅化藻丝体	北京	Ptd	0.1				
Tu-8	硅化核形石	北京	Ptc	0.25				
Y-14	燧石结核	北京	Pty	2.7				
Xin-1	燧石结核 ²⁾	河南	€ ₁	1.98				
Pim-1	燧石结核	江苏	C ₁	-0.35				

1) 样品由高原一分队报告编写组提供; 2) 样品由金若谷提供。

方不同而有差别。根据硅同位素统计数据^[1], $\delta^{30}\text{Si}$ 在陨石中和地球上的基性岩中 $\delta^{30}\text{Si}$ 值平

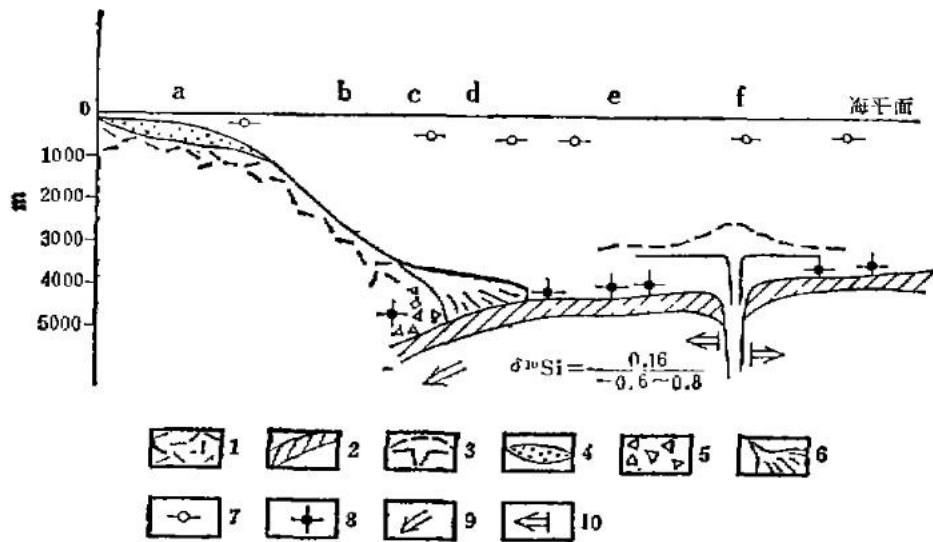


图1 洋壳区域沉积环境示意图

- 浅海； b. 大陆斜坡； c. 混杂岩和堆积岩带； d. 深海浊积扇； e. 洋壳海底； f. 洋壳火山喷发区。
- 1. 陆壳； 2. 洋壳； 3. 洋壳区火山喷发； 4. 陆地边缘沉积物； 5. 混杂或滑塌沉积物； 6. 浊积沉积物；
- 7. 漂浮的放射虫； 8. 地槽型放射虫岩； 9. 洋壳俯冲方向； 10. 洋壳扩张方向

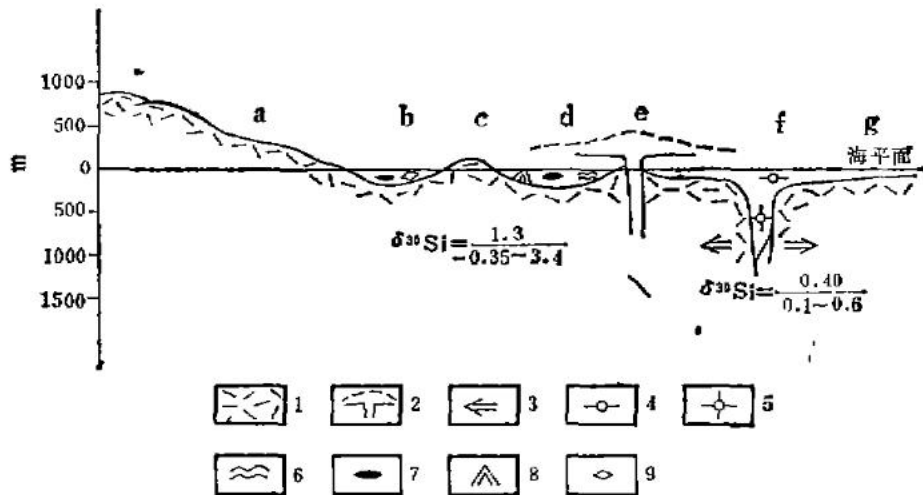


图2 陆壳区沉积环境示意图

- 陆地侵蚀区； b. 萨布哈或泻湖； c. 障壁或峡坝； d. 陆表海； e. 陆内火山喷发带；
- f. 陆壳裂隙槽； g. 阔海。
- 1. 陆壳； 2. 火山喷发； 3. 裂隙槽张裂方向； 4. 漂浮放射虫； 5. 地台型放射虫岩； 6. 藻席；
- 7. 燧石结核； 8. 叠层石； 9. 蒸发岩

均为负值。由此有理由推断：放射虫岩或硅质岩沉积在离火山喷发区近的地方其 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为负值；换言之，那些远离火山喷发区沉积的岩石为正值，虽然数值也都是小于 1。因此，本文设想祁连山地区早古生代的放射虫岩和硅质岩可能形成于离火山喷发区近的地方，见于有些岩石中 $\delta^{30}\text{Si}$ 值是负的。

在地台或陆壳区中硅质岩或放射岩的硅同位分布类型又可分为几种亚类型(图 2)。地台

型放射虫岩和硅质岩是浅海环境的岩石,常与碳酸盐岩共生而不是与蛇绿岩在一起^{[1]*}。一般来说,地台放射虫岩集中在陆壳的裂隙槽带,约为海平面以下1000m的深度。由于地台放射虫岩沉积在 CCD 面以上,因此,可以包含碳酸盐矿物、有机杂质、黄铁矿和海绿石等,这些物质可将放射虫岩污染为暗灰色或黑色。地台放射虫岩中 $\delta^{30}\text{Si}$ 值平均为 0.4,只具有较小的变化幅度,其数值是介于地槽放射虫岩的最大值和最小值之间,这是第一种亚类型。

陆壳硅质岩的第二种亚类型包括:燧石层、硅化藻席岩和硅化核形石岩等,这些岩石是由藻丝体聚集起来的,它们生长需要充足的阳光,生活在浅海环境中。此外,一些在碳酸盐岩中的硅化结核也可以在浅埋伏的浅海环境中,在早期成岩阶段形成。这些岩石 $\delta^{30}\text{Si}$ 值的平均值是所有硅质岩中最高的,为 1.3。换言之,浅海沉积物具有最高的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值。然而也有特殊的例子,如北京十三陵元古宙大红峪组和团山子组中的硅化藻丝岩分别测得 $\delta^{30}\text{Si}$ 为 0.1 和 0.25,这很可能是硅化同时火山喷发作用影响的结果。如所知,在北京附近的平谷县广泛分布大红峪组的火山熔岩和凝灰质沉积。此外,就在十三陵地区,同一硅化藻席层位中,也曾发现过个别的硅化火山碎屑长石晶体,可认为是火山活动的证据^[6]。

陆壳硅质岩的第三种亚类型是晚期成岩阶段成因的燧石结核,例如北京十三陵中元古宙杨庄组的淡红色白云质岩层中的燧石结核和河南鲁山下寒武统含石膏地层中的燧石结核,这些燧石结核形成于潮间带的上部或萨布哈环境中,其 $\delta^{30}\text{Si}$ 值介于 2.7 至 1.91 之间,但是也有一个特殊例子,就是江苏徐州石炭纪的燧石具有 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为 -0.35,这很可能是由于在石炭纪时期,邻近徐州的丰县出现大量火山活动的影响,无怪乎在那些燧石结核中包含有相当多的热液方解石细脉存在。

硅质岩是一种缺少宏观相标志的沉积岩,因此,在硅质地层中进行相分析是很困难的,本文基于若干典型硅质岩中硅同位素数据,讨论了 $\delta^{30}\text{Si}$ 数值在硅质岩中的分布,可应用于沉积相分析和沉积环境研究。

参 考 文 献

- [1] 丁樟平等,矿床地质,1988,90—96.
- [2] 宋天锐等,地质科学,1977,309—393.
- [3] Friedman, G. M. and Sanders, J. E., *Principle of Sedimentology*, 1978, 131—142.
- [4] 宋天锐,科学通报,33(1988),8: 609—611.
- [5] Jackson, M. J., Muis, M. D. and Plumb, K. A., *Geology of the Southern McArthur Basin, Northern Territory*, 1987, 60—91.
- [6] 宋天锐等,北京十三陵前寒武系沉积岩,1987,59—62.

* 见 1408 页脚注。