

深海沉积岩系元素成因的地球化学原理

汪云亮

(成都地质学院)

前言

本文提出了泥质碳酸盐岩系中元素的成因原理及判别公式,重点讨论了陆源元素。指出:(1)Al含量是陆源组分在岩石相对含量的典型标志,而与陆壳成分变化关系不大;(2)陆源元素与Al的比值以及两陆源元素之间比值的变化,是陆源地壳成分变化的标志;(3)按陆源元素与Al比值特征,划分出两组陆源元素——Ta组和Th组。Ta组陆源元素与Al含量比值反映陆源地壳基性成分特征,而Th组陆源元素与Al含量比值则反映陆壳酸性成分特征。预计这些原理也能应用于泥质-硅质岩系及其它陆源组分-化学成因组份岩系。

在上述原理例证中,列举了南大西洋深海沉积的研究成果:包括REE丰度、Eu的负异常、Sm/Eu比值变化、La/Th、Th/Yb和其它陆源元素与Al的比值—— $\text{FeO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Zr}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Hf}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 的变化。这些研究成果说明:(1)南大西洋深海沉积陆源由铁镁质(103—78Ma)变为较高的长英质特征(54Ma—现代);(2)在约54Ma开始,南大西洋奠定了现代沉积物陆源元素地球化学特征。

本文在拟编过程中,吴应林、王旺章同志提供许多有益意见,给予很大帮助,表示致谢。

一、典型的陆源元素——Al

本文研究以南大西洋深海钻探研究计划中的530、525和516F孔深海泥质岩石和泥质沉积物-碳酸盐岩系为主。为了讨论判断这种岩系或沉积物中微量元素及主要元素起源的原理,首先对Al进行总结和分析,这包括我们的研究结果以及前人的大量研究成果。

深海沉积物中的Al,是一种典型的陆源元素。(1)深海沉积泥质岩石中 Al_2O_3 平均含量接近地壳平均含量。29个纯的粘土岩、泥岩和软泥中 Al_2O_3 平均含量(DSDP 530A孔)为14.3%,略低于地壳丰度值的15%(Ahrens, 1965)或15.36%(Brain Marson, 1952);(2)Al几乎唯一地被海洋的陆源碎屑铝硅酸盐的输入所控制,化学及生物成因沉积物中Al含量趋近于零。在 $\text{CaCO}_3 > 98\%$ 的纯灰岩和Ca质软泥中, Al_2O_3 平均含量为0.24%(DSDP 530A孔)和0.40%(DSDP 525孔)。而软体动物碳酸盐贝壳(DSDP 525A孔)中 Al_2O_3 含量为0.05%。Grat(1960)报道纯的生物礁灰岩Al含量为万分之几。由此清楚地看出,如果假定在生物成因碳酸盐碎片中Al是化学或生物成因,在深海纯碳酸盐沉积及灰岩中Al含量比碳酸盐贝壳及生物礁灰岩的Al含量高一个数量级,那么深海纯碳酸盐中的Al主要含在极少量的陆源碎屑物质中;(3)在深海泥质岩-碳酸盐岩系中, Al_2O_3 含量与岩石中非碳酸盐组分含量成

正比。在分析的 34 种元素中, Al 和非碳酸盐组分含量有最好的相关关系($r=0.96$)(表 1)或 Al_2O_3 含量随岩石中 $CaCO_3$ 含量增加而减少。关于石灰岩中 Al_2O_3 含量, 不同著者所提供的数据相差很大, 由上面的讨论可以了解造成这种差异的原因, 如 Al_2O_3 在碳酸盐岩中含量的

表 1 元素和非碳酸盐间的相关关系

元素	相关系数	截距	回归系数	非碳酸盐组 分元素含量	页岩中元 素含量*
Ti(%)	0.88	0.01±0.02	0.007±0.001	0.71	0.46
Al	0.96	0.17±0.09	0.059±0.003	6.1	8.4
Fe	0.84	-0.5±0.3	0.077±0.008	7.2	6.5
Mg	0.92	0.10±0.05	0.021±0.001	2.2	2.1
Ca	1.00	40.2±0.1	-0.375±0.002	2.7	2.9
Na	0.72	0.47±0.02	0.008±0.001	1.3	4
K	0.93	0.06±0.05	0.022±0.001	2.3	2.5
Cl	0.73	0.79±0.03	-0.007±0.001	0.09	2.1
Br(ppm)	0.41	22±1	-0.09±0.03	13	70
Sc	0.94	0.3±0.3	0.17±0.01	17	19
V	0.90	-9±4	1.8±0.1	171	120
Cr	0.85	2±2	0.47±0.05	49	90
Mn	0.63	280±60	10±2	1280	6700
Co	0.30	0±6	0.4±0.2	40	74
Zn	0.91	-3±3	1.21±0.09	118	165
As	0.49	-0.5±0.6	0.07±0.02	6.5	13
Rb	0.88	2±2	0.80±0.07	82	110
Sr	0.85	1120±30	-10±1	120	180
Ba	0.45	300±60	6±2	900	2300
La	0.73	8±1	0.25±0.04	33	31
Ce	0.77	7±3	0.62±0.08	69	67
Nd	0.65	7±1	0.19±0.04	26	35
Sm	0.76	1.4±0.2	0.044±0.006	5.8	6.2
Eu	0.91	0.28±0.03	0.010±0.001	1.3	1.8
Tb	0.69	0.20±0.04	0.006±0.001	0.8	1.1
Dy	0.66	1.4±0.2	0.032±0.006	4.6	6.9
Yb	0.63	0.7±0.1	0.022±0.004	2.9	2.9
Lu	0.66	0.09±0.02	0.003±0.001	0.4	0.37
Hf	0.67	0.2±0.2	0.049±0.009	5.1	4.1
Ta	0.64	0.1±0.1	0.016±0.003	1.7	1.2
Th	0.78	0.5±0.3	0.067±0.009	7.2	7
U	0.63	0.1±0.1	0.021±0.004	2.3	1.3

* REE 数据取自 Wildeman 和 Haskin (1965); 其它元素数据取自 Turekian 和 Wedepohl (1961); Ta 数据取自 Hamaquchi 等(1963)。

报道数据从 0.81(Clark 和 Washington, 1924)到 2.5%(Green, 1959)。根据表 1 推算, Clark 的值很可能代表了 $CaCO_3 > 80\%$ 的较纯灰岩的平均值, Green 的值代表了 $CaCO_3 > 50\%$ 的灰岩; (4) Al 含量不受陆源地壳组成变化的影响, 深海沉积物及沉积岩中 Al 含量, 只反映陆源碎屑物质供应量, 而与陆壳组成关系不大。经研究, 组成地壳的主要岩石类型(玄武岩、安山岩和流纹岩)中 Al 及其它化学成分的关系(图 1)中可见, 从基性岩(玄武岩)通过中性岩(安山岩), 最后到流纹岩, SiO_2 含量逐渐增高, 碱金属元素 $K_2O + Na_2O$ 随 SiO_2 含量增高而增高, FeO、CaO 和 MgO 含量随 SiO_2 含量增高而减少, 其中 MgO 含量下降最快。 Al_2O_3 含量的变化则和上述各组分不同, 其含量实际上没有变化, 只是对酸性岩石略有降低。

其它地壳表面地区, 玄武岩—安山岩—流纹岩岩石, 也具类似上面的定量特征。对于一

些具体地区的相应的深成岩,辉长岩—闪长岩—花岗闪长岩和花岗岩,以及全球范围的有关岩石的平均值也具有这些定量特点。

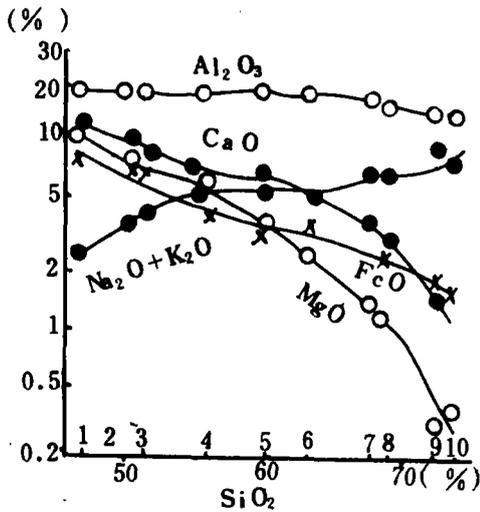


图1 美国喀斯特火山岩区岩浆岩中一些主要元素含量变化(一般对大多数岩浆岩系来说,这种关系是典型的)(据 L. H. 阿伦斯, 1965)

1、2、3-橄辉岩、玄武岩, 4-玄武质安山岩;
5-紫苏辉石安山岩, 6-辉石安山岩;
7、8-英安岩, 9、10-流纹岩—黑曜岩

从以上事实看出,陆源元素中只有 Al 的含量不随具体源区陆壳成分变化而变化,因此,它是一个良好的度量沉积岩陆源成分变化的标准。海相沉积岩中陆源元素和 Al 的比值的变化,反映了陆源地壳成分的变化。

由于深海泥质岩中 Al 或 Al₂O₃ 含量接近地壳平均含量,Al 几乎仅受从陆源输入海洋的碎屑铝硅酸盐所控制,Al 和岩石中非碳酸盐组分有最好的相关关系,以及深海沉积岩系中 Al 含量与陆源地壳性质无关,因此 Al 可以作为深海沉积陆源碎屑物质相对数量的良好指示剂,也是良好的对比标准。

二、沉积岩中元素成因类型及判别原理

根据对典型陆源元素 Al 的研究,著者提出以下判断碳酸盐-泥质岩中元素成因类型的原理。

沉积岩中元素含量,可以看成是由陆源组分 C_{元·陆} 和非陆源(化学或水成以及生物)成因组分 C_{元·非} 的混合贡献,根据质量平衡,岩石中元素含量

$$C_{元·总} = C_{元·陆} \cdot f_{陆} + C_{元·非} \cdot f_{非} \quad (1)$$

式中 C_{元·陆} 为陆源组分(包括陆壳碎屑物质及海底喷发火山灰)元素含量, C_{元·非} 为水成(及生物)成因组分元素含量, f_陆 和 f_非 分别为陆源组分和水成组分的质量分数。

式(1)是沉积岩中元素含量与成因关系的通式。在一般情况下,一种元素在沉积岩中分配于不同成因组分中。设沉积岩中各种组分可以归并到广义的陆源组分和水成组分两大类组分中,由元素在不同成因组分中的分配关系,将沉积岩中元素分为三类——陆源元素、水成元素、和混合成因元素。如果一种元素只分配于沉积岩的陆源碎屑物质或海底火山灰组分中,而不含在化学和生物成因组分中,这种元素就叫做陆源元素;相反,如果一种元素只分配于沉积岩的化学或生物成因组分中,这种元素叫做水成元素;第三种情况,如果一种元素在沉积岩的两种成因组分中都有分配,这种元素就叫做混合成因元素。

由式(1),我们可以通过元素含量和 Al 含量(用 Al₂O₃ 含量表示)关系,由元素-Al 含量

关系图(图 2a),来判别沉积岩中元素的成因。

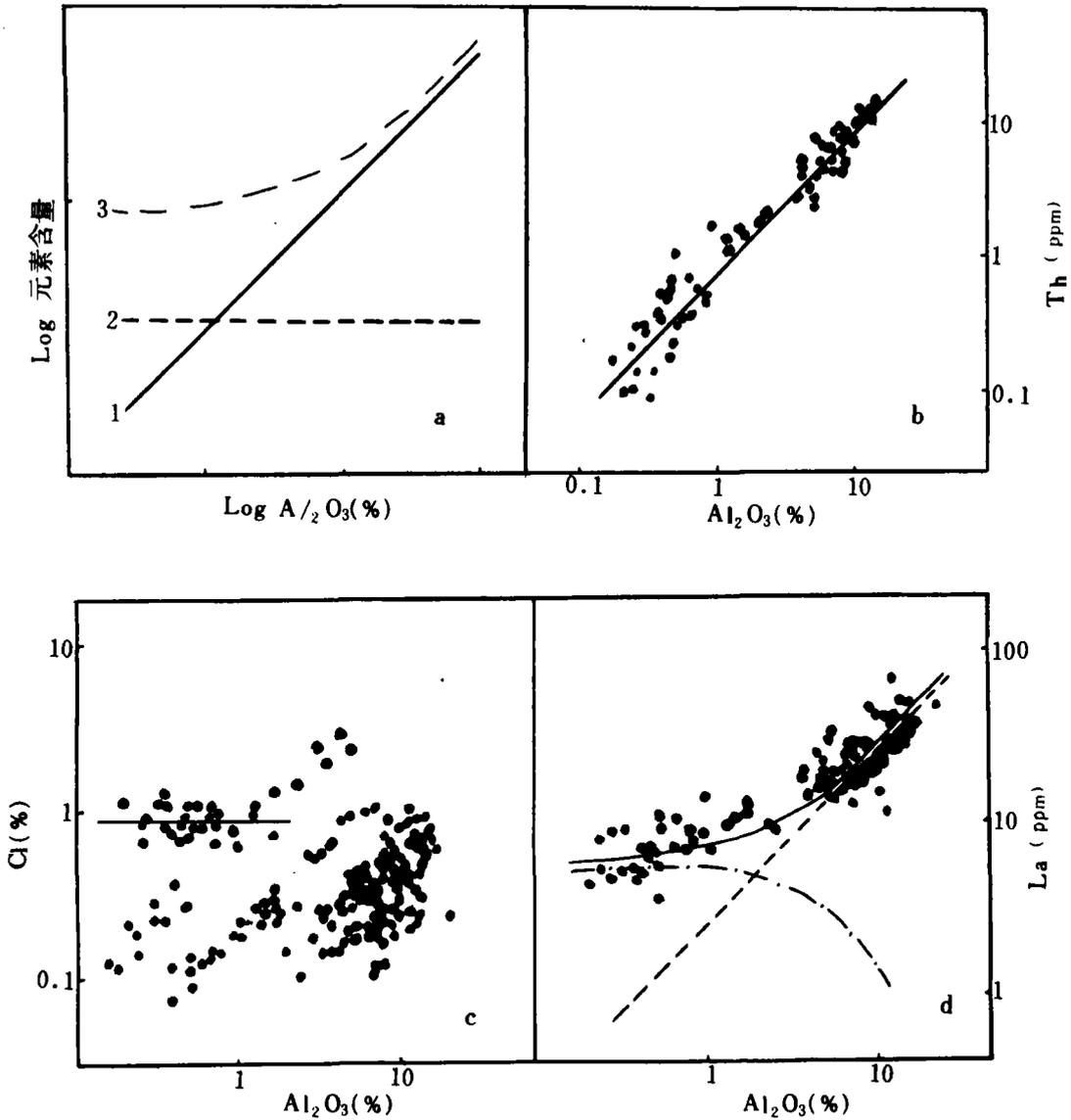


图 2 沉积岩中元素和 Al₂O₃ 含量关系

a. 沉积岩中元素和 Al₂O₃ 含量关系曲线的型式; 1-陆源元素, 2-水成元素, 3-混合成因元素;

b. Th-Al₂O₃ 含量关系曲线; c. Cl-Al₂O₃ 含量关系曲线; d. La-Al₂O₃ 含量关系曲线

(全岩为实线; 陆成组分为虚线, 水成组分或碳酸盐组分为点划线)

沉积岩中元素成因的判别准则如下:

1. 在沉积岩系中, 如果一种元素含量与 Al 含量成正比(图 2a 中实线), 这种元素就是陆源元素。在元素-Al 含量图上(一般座标)是一种通过座标原点(零)的直线, 在双对数座标图中, 是斜率为 1(45°角)的直线, 例如 Th(图 2b)。陆源元素还有 k. Rb. Cs. Ta. Hf. Zr. Ti. Fe. Sc 等。

2. 在沉积岩系中,如果一种元素与 Al 含量无一定关系(图 2a 中的虚线),这种元素就是水成元素。在元素-Al 图上是一条水平线(如深海碳酸盐软泥中的 Cl,图 2c 左上的水平线)或没有一定关系,如 Cl(图 2c)。水成元素还有 Br. Mn. Sr. U 等。

3. 一种元素在沉积岩系的泥质岩石中含量与 Al 含量成正比,但在岩系的水成岩石(如碳酸盐石、硅质岩等)中含量与 Al 无关(图 2a 中点划线),这种元素就是陆成和水成混合成因元素,在元素-Al 图上是一条斜率随 Al_2O_3 含量增高而逐渐增高的曲线,如图 2d 中虚线为岩石中陆源组分中 La 的含量,而点划线为岩石中碳酸盐组分中 La 的含量,二者之和为实线就是陆成和水成混合成因元素 La 的含量。这类元素还有其它稀土元素(Ce. Nd. Sm……) Mg, Na 等。

下面将论叙陆源元素的性质、特征以及图形表示的地质意义。有关水成及混合成因元素将另文讨论。

三、陆源元素的性质

对于典型的陆源元素 Al,如上节所讨论的,由于在水成(如碳酸盐、锰结核)及生物成因(如有机炭,生物磷酸盐)组分中含量极低,所以式(1)右边第二项可以忽略不计。陆源元素 Al 的含量,用 Al_2O_3 含量表示,岩石的陆源组分中 Al 含量用纯泥质岩 Al_2O_3 含量表示,陆源组分质量分数($f_{陆}$)用岩石全岩减去其碳酸盐组分来表示,即 $f_{陆} = 1 - CaCO_3$ 。由式(1)岩石中 Al_2O_3 含量为:

$$Al_2O_3(\text{岩石})\% = Al_2O_3(\text{纯泥质岩})[1 - CaCO_3(\text{岩石})] \quad (2-1)$$

和 Al 类似,对于所有陆源元素,在岩石中的含量(C)为:

$$C_{(\text{岩石})} = C_{(\text{纯泥质岩})}[1 - CaCO_3(\text{岩石})] \quad (2-2)$$

式(2-1)除以式(2-2),得

$$\frac{C}{Al_2O_3}(\text{岩石}) = \frac{C}{Al_2O_3}(\text{泥质岩石}) \quad (3)$$

式(3)说明:沉积岩系中所有陆源元素含量与 Al 含量成正比。同理,对于碳酸盐泥质岩系,任意两个陆源元素(A、B)含量比值为:

$$\frac{C_A}{C_B}(\text{岩石}) = \frac{C_A}{C_B}(\text{纯泥质岩}) \quad (4)$$

式(4)说明了陆源元素的一个共同性质:沉积岩系中任意两个陆源元素含量互成正比。式(3)只是式(4)的一个特例,如前所述,以这个性质为判据将陆源元素与其它成因的元素区别开来。

以 Th 为例来说明陆源元素的判别(判别准则 1)及性质。Th 和 Al 含量成正比(图 2b),从统计学上说明 Th 和 Al 相关关系很好,相关系数 $r = 0.94$ (表 2)。其含量关系(DSDP530 孔 87 个样品)为:

$$Th(\text{ppm}) = (0.16 \pm 0.30) + 0.71Al_2O_3(\%) \quad (5-1)$$

回归曲线的截距(0.16)小于误差(0.30),即回归曲线通过零点。换句话说,当 Al_2O_3 (陆源组分的标志)含量为零时,Th 含量也为零。这样,二者呈近线性正比关系,比例常数为 0.71。上式可写为:

$$Th(\text{ppm}) = 0.71Al_2O_3(\%) \quad (5-2)$$

由式(5-2)说明 Th-Al₂O₃ 含量关系符合沉积岩中元素成因判别准则 1, 所以 Th 是一种陆源元素。由式(5-2):

$$\frac{\text{Th(ppm)}}{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0.71 \quad (5-3)$$

由式(5-3)可以得知 Th 具有陆源元素的性质, 即在碳酸盐-泥质岩系中, 两个陆源元素(Th 和 Al)含量成正比。比例常数(0.71), 只和陆源性质有关, 而和岩石类型(如泥岩、泥灰岩、灰岩)无关。但是注意, 由回归法标出的比值和算术平均值有点差异, 用后者计算:

$$\text{Th/Al}_2\text{O}_3 = 0.73(\text{ppm}/\%) (86 \text{ 个样品})。$$

表 2 Al₂O₃(x)与元素、元素氧化物和碳酸盐(y)的相关关系

	截距	回归系数	相关系数
TiO ₂	0.13±0.05	0.054±0.004	0.82
FeO	0.7±0.3	0.47±0.03	0.86
MnO	0.15±0.05	-0.004±0.004	-0.093
MgO	1.3±0.3	0.12±0.02	0.50
CaO	47±2	-3.2±0.2	-0.90
Na ₂ O	0.51±0.09	0.098±0.008	0.79
K ₂ O	0.27±0.09	0.195±0.008	0.93
Cl	0.40±0.10	0.007±0.009	0.08
Br	14±4	0.1±0.4	0.03
Sc	1.3±0.5	1.29±0.05	0.95
V	19±7	7.9±0.7	0.78
Cr	10±5	7.7±0.5	0.87
Co	4±3	1.5±0.3	0.49
Ni	13±6	4.7±0.6	0.66
Zn	27±15	8.4±1.4	0.48
Rb	3±4	9.3±0.4	0.94
Sr	440±50	-16±4	-0.38
Cs	0.03±0.22	0.44±0.02	0.92
Ba	140±120	40±11	0.36
La	7.9±1.5	1.8±0.1	0.82
Ce	11±3	4.3±0.3	0.84
Nd	7.4±1.5	1.8±0.1	0.82
Sm	1.4±0.3	0.33±0.03	0.82
Eu	0.32±0.07	0.074±0.006	0.79
Tb	0.21±0.03	0.048±0.003	0.87
Dy	1.6±0.3	0.28±0.02	0.78
Yb	0.68±0.09	0.150±0.008	0.89
Lu	0.11±0.02	0.021±0.002	0.87
Hf	0.3±0.2	0.28±0.02	0.89
Ta	0.22±0.07	0.077±0.006	0.79
Th	0.2±0.3	0.71±0.03	0.94
CaCO ₃	84±3	-5.8±0.3	-0.90

四、陆源元素的特征及图形表示方式

由式(3)和(4), 根据陆源元素性质, 对陆源元素特征, 相应的反映陆源元素性质和特征的图形(图 3)阐述如下:

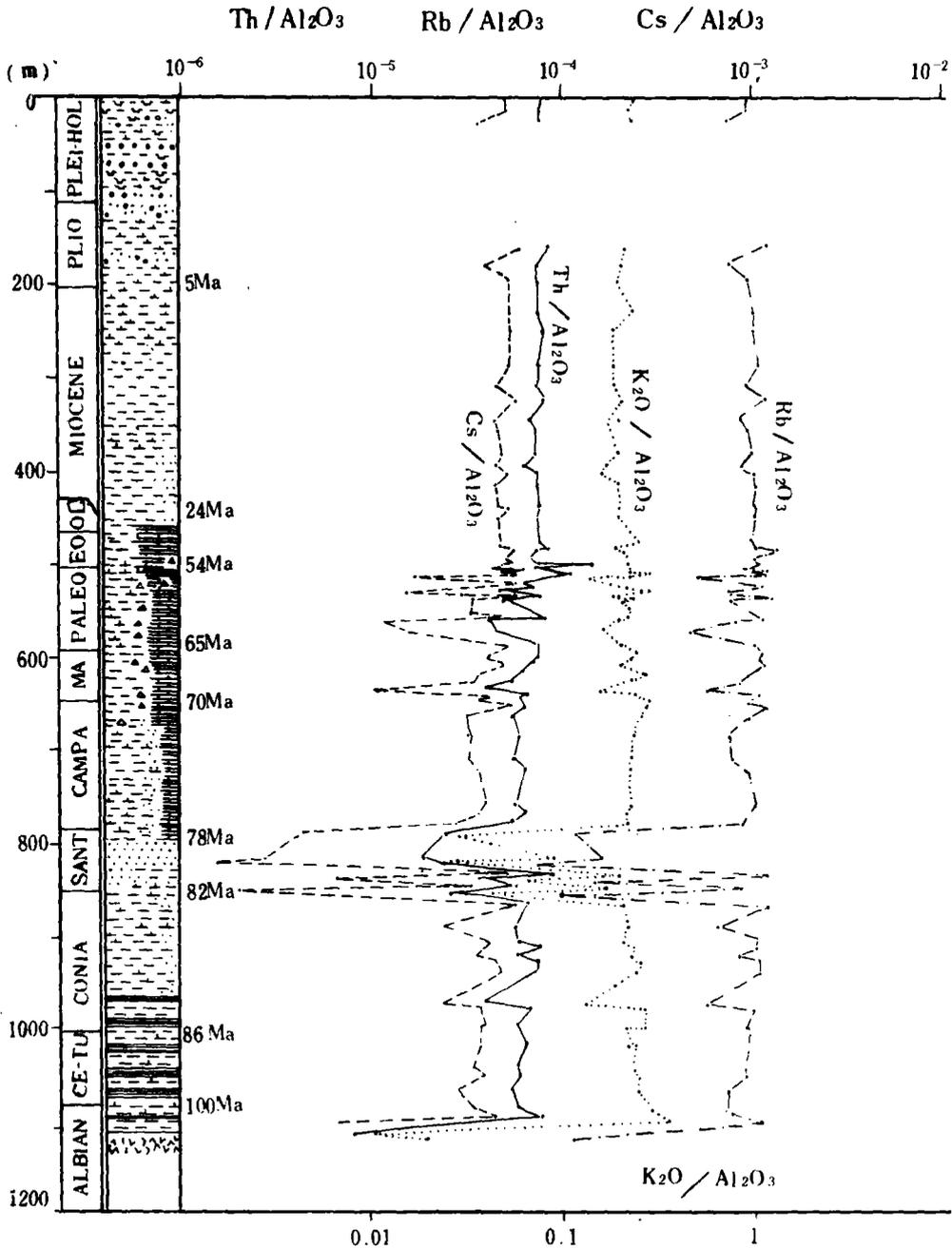


图3 陆源元素(Th,Rb,Cs,K)与 Al_2O_3 比值随地质年代的变化
(南大西洋,国际深海钻探工程,第75航次530钻孔)

早白垩世晚期,ALBIAN—阿尔比阶,CE-TU—森诺曼-土仑阶;
晚白垩世,CONIA—科尼阶,SANT—桑托阶,CAMPA—坎佩尼阶,MA—马斯克里克特阶;
第三纪,PALED—古新世,EO—始新世,OL—渐新世,MIocene—中新世,PLIO—上新世
第四纪,PLEI—HOL—更新世—全新世
54Ma—现代,岩石中的比值高于年代老的岩石(如82—103Ma);火山碎屑岩(82—78Ma)
及基底玄武岩(103Ma以前)的比值大大低于沉积岩中的值;石灰岩中海底
火山灰及碎屑的混入(70—54Ma)也使比值明显下降

1. 当沉积岩系中陆源组分没有变化时,任意两陆源元素的比值为常数。

如上所述,在元素- Al_2O_3 含量关系图上,岩系的成分趋势是一条通过座标原点的直线。除了元素-元素含量图上这种特征之外,这种沉积岩系在以下一些类型的图形中的特点为:

(1)地层剖面-陆源元素比值图——是一条平行于剖面的直线〔如图3中54Ma—现代的Rb、K(以 K_2O 表示)、Th、Cs和 Al_2O_3 比值〕

(2)陆源元素比值- Al_2O_3 含量图(通常以元素比值为纵座标,以表示沉积岩岩石类型的标志元素,如 Al_2O_3 、 CaCO_3 等,为横座标)——沉积岩系的成分趋势是一条平行 Al_2O_3 轴的水平线。

(3)陆源元素比值-陆源元素比值图——在这种图上这种沉积岩系成分是一个点。但实际上一个岩系的比值并不是严格数学意义上的常数,所以一个岩系的成分是一个小的区域。如图4中的54Ma—现代的泥岩(空心园点)。

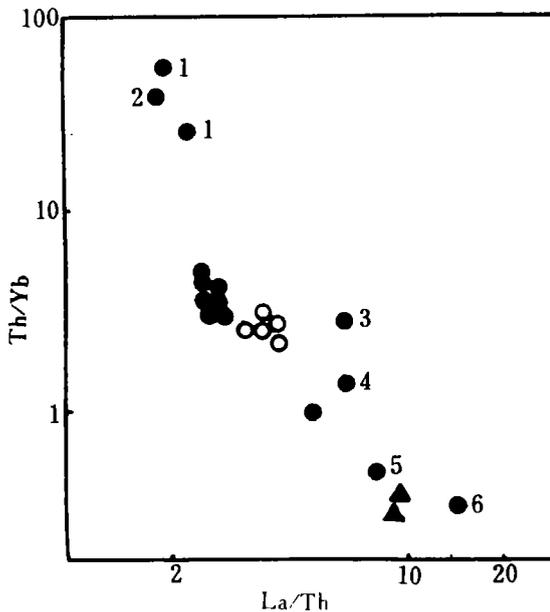


图4 深海泥质岩石和岩浆岩中Th/Yb对La/Th图

●泥岩,<54Ma;○粘土岩和页岩,>78Ma;
▲基底玄武岩
岩浆岩:1-G₁、G₂花岗岩;2-GSP1花岗闪长岩;
3-AGV-1,安山岩;4-BCR1,哥伦比亚河玄武岩
5-BHVO-1,夏威夷玄武岩;6-PCC-1,橄辉岩

2. 两组沉积岩或两个沉积岩系,如果陆源元素比值相同,则其陆源性质相同或相似;如果两组沉积岩陆源元素比值不同,则两组岩石或两个岩系的陆源性质不同。

对于前者,图形特征和第1条中的相同。对于后者则为:

(1)地层剖面-陆源元素比值图——陆源性质不同的两组岩石是两条大体平行于地质剖面的不同的直线,如图3中晚于54Ma泥岩和早于79Ma页岩中(Th、Cs)/ Al_2O_3 比值,前者较高、后者较低。

(2)陆源元素比值-陆源元素比值图——陆源性质不同的两组岩石的成分趋势是两个点。如在Th/Yb-La/Th比值关系图(图4)中晚于54Ma的泥岩(空心园点)和早于78Ma的页岩(实心园点)。前者的陆源为广大的南大西洋周围的上地壳,后者为邻近沉积地区的玄武岩出露区。

3. 沉积岩系中陆源元素比值有变化,则说明陆源组分有变化,这反映陆源供应地区或类型的改变以及陆壳性质的改变。有两种图形能清楚的反映这一特征:

(1)地层剖面-陆源元素比值图——第一种情况是沉积岩系成分趋势是一条斜线。例如, 著者曾报导(1986, 该文内的图 5)南大西洋安哥拉海盆从 78—54Ma 剖面段, Sm/Eu 比值从 4.1 ± 0.4 逐渐变为 5.2 ± 0.6 , 是一条逐渐增高的斜线趋势。这是由于陆源物质供应区由玄武质变为长英质所致; 第二种情况是一条直线和一些明显偏差这一直线的点。例如, 在南大西洋陆源安哥拉海盆, 碳酸盐泥质岩系 $\text{Th}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值是常数(0.73), 即一条平行剖面线的直线, 反映岩系陆壳来源是比较稳定的。但在 78—82Ma 地层段(图 3), 岩石的 $\text{Th}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 成分点明显偏离这一直线, 即 $\ll 0.73$ 。由此, 以及类似特征, 可以辩认出这种岩石是海底喷发的贫 K、Th、Rb、Cs 和富 Ti、Fe、Zr、Hf 的碱性火山碎屑岩。又例如, 深海碳酸盐沉积的陆源组分(广义)中, 与主要源于陆壳的泥质沉积比较, 海底火山喷发火山灰的相对比重较高, 因此碳酸盐岩中陆源元素更容易记录和反映海底喷发过程。由于这一原因, 图 4 中 70—54Ma 地层段的石灰岩, $\text{Th}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值明显低于 0.73。

(2)元素比值-元素比值图——与上面第二特征(两个点)不同, 陆源成分变化的岩系的成分趋势是一条斜线(图 5)。反映了两点(即两种成分的陆源)之间成分上的逐渐过渡演化关系。

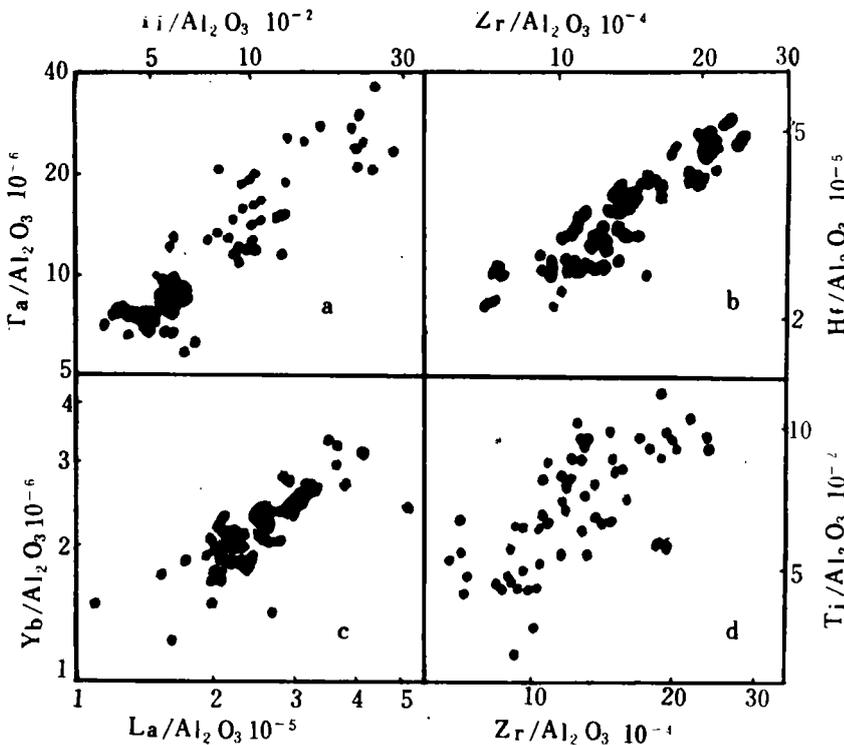


图 5 Ta 组陆源元素的元素对 Al_2O_3 比值图。

a. $\text{Ta}/\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{Ti}/\text{Al}_2\text{O}_3$; b. $\text{Hf}/\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{Zr}/\text{Al}_2\text{O}_3$; c. $\text{Yb}/\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{La}/\text{Al}_2\text{O}_3$; d. $\text{Ti}/\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{Zr}/\text{Al}_2\text{O}_3$

五、陆源元素的分组——Ta 组和 Th 组

如前所述, 在地壳成分改变时, 地壳中 Al 含量保持不变。这样, 其它大多数陆源元素含量对 Al 的比值的增大或减少, 反映了陆源中相应元素含量的增大与减小, 而这种元素在

陆壳或海底火山物质中的含量则反映陆源基本成分特征。据此,将陆源元素分成两组——Ta组和Th组。

Ta组陆源元素 这组元素和陆源中铁镁质矿物,如橄榄石、辉石、角闪石、黑云母有关。Ta组元素有Ta、Nb、Zr、Hf、Sc、Ti、Fe及稀土元素。Ta组元素(和 Al_2O_3 比值)之间相关关系较好(图5)。沉积岩系中Ta组元素的成分趋势具上面所说的陆源元素的所有三个特征。例如,南大西洋深海沉积中Ta组元素,在元素比值-元素比值图上是一条斜线(图5)。也就是说,Ta组陆源元素和 Al_2O_3 比值在地质历史中有变化,而这种变化基本反映了陆源基性岩类相对量的变化。

Th组陆源元素 Th组元素和陆源中硅铝质矿物,如钾长石、白云母等有关。Th组元素有Th、Rb、Cs、K等。Th组元素(和 Al_2O_3 比值)之间相关关系较好(图6),但和Ta组的相关较差或反相关。在元素比值-元素比值图上,沉积岩系中Th组元素的成分趋势是一条斜线(图6b),即比值在变化。Th组陆源元素和 Al_2O_3 比值的变化,基本反映了陆源酸性岩类相对量的变化。

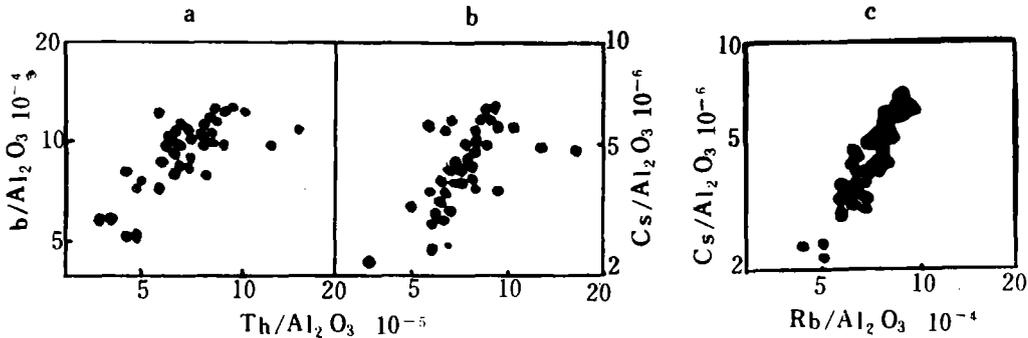


图6 Th组陆源元素的元素比-元素比关系

a-Rb/ Al_2O_3 -Th/ Al_2O_3 关系;b-Cs/ Al_2O_3 -Th/ Al_2O_3 关系;c-Cs/ Al_2O_3 -Rb/ Al_2O_3 关系

例如,南大西洋安哥拉海盆较老的泥质岩石(103—78Ma),Ta组陆源元素Ta、Fe、Ti(用 $Fe_2O_3 \cdot TiO_2$ 表示)、Zr、Hf和 Al_2O_3 的比值为常数,并且和玄武岩相应的比值很相近,分别为13.6、0.71、0.085、16.8和0.41(ppm/%)。而年代较新的泥质岩和泥质软泥(54Ma—现代),Ta、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、Zr、Hf和 Al_2O_3 的比值也是常数,但低于年代较老岩石中的值,分别为 7.5 ± 0.9 、0.45、0.05、11.8和0.26(ppm/%)。说明在较老的地质时期(103—78Ma),主要沉积物质来源于东边邻近的暴露出的非洲大陆壳上巨大的艾登德卡(Etendeké)玄武岩高原,后者具有安山岩的平均成分,反映陆源范围为靠近沉积地点的相对狭小的地区。而从54Ma开始,陆壳物质具长英质特点,即具有平均地壳的成分,反映了陆源范围包括了离沉积地点更远的广阔地区,海相沉积的沉积条件和海水循环情况基本上和近代南大西洋的情况相同,即从54Ma开始,南大西洋开始具备了现代南大西洋所具有的基本地球化学特点。

和Ta组元素相反,在南大西洋较老时代(103—78Ma)的泥质岩中,Th组陆源元素Th、Rb、Cs和 Al_2O_3 的比值比时代新(54Ma—现代)的泥质岩沉积物的值低(图3)。这种变化进一步证明了Ta组元素的上述论证。