

化学沉积过程中元素间线性关系的研究

——以盐类沉积为例

万渝生 厉子龙

(中国地质科学院地质研究所 北京 100037)

提 要 本文研究了半封闭体系的盐类化学沉积过程。在获得单个元素浓度变化规律的基础上,推导了元素间线性关系的数学模型。提出元素定性分配系数和定量分配系数概念,给出元素拟合直线截距和斜率的地球化学意义,并讨论了制约元素间关系的影响因素。最后给出了应用实例。

关键词 盐类化学沉积 数学模型 线性关系 元素定性 定量分配系数

第一作者简介 万渝生 男 34岁 博士 副研究员 地球化学及岩石学

元素间呈线性相关是各类地质体中普遍存在的地质现象(Sun et al. 1979; Wood et al., 1981; Calvert et al., 1984; 王方正, 1990; 张寿广等, 1991)。在建立有关数学模型的基础上,笔者之一曾对岩浆作用过程元素间呈线性关系的原因,地质地球化学意义等进行过深入研究(万渝生, 1987, 1990)。从物理化学角度考虑,化学沉积类似于诸如部分熔融、结晶分异一类的平衡过程,所以亦可应用分配系数的概念来研究化学沉积过程中元素的地球化学行为,并建立相应的数学模型。事实上,分配系数概念,在应用于岩浆作用研究之前,就已应用于盐类沉积研究了。

本文研究了半封闭体系盐类化学沉积元素间线性关系的数学模型。该模型虽然简单,但仍能阐明化学沉积中元素间相关行为的某些基本原理,并对岩浆作用过程元素间关系的研究有所启发。

1 数学模型

1.1 描述单个元素行为的数学模型

为了获得元素间线性关系的数学模型,首先需导出描述单个元素行为的规则。半封闭体系的盐类化学沉积是这样一个化学沉积体系:在无外来物质加入的情况下,通过蒸发或其它作用,体系里水溶液饱和而使固相不断析出。随着作用过程的进行,残余水体和析出固相的化学组成将不断发生变化。显然,某些封闭盆地的盐类沉积与之类似。

设想一饱和水溶液体系,在已发生固相沉积的某一时刻 T 之后,又有少量固相从水体中分离出来。如果结晶出的固相物质马上带出水体,分离出的溶剂水不含其它元素,根据物质不灭定律,可写出时刻 T 前后元素在不同相中再分配的恒等式:

$$\Delta T \text{ 时间内分离出的固相中某元素的质量} + \text{剩下的饱和溶液中该元素的质量} \\ = \text{时刻 } T \text{ 前饱和溶液中该元素的质量} \quad (1)$$

如果设 Q 为饱和水溶液的初始质量, F 为残余饱和水溶液所占比例, C_0 为元素在初始饱和水溶液中的浓度, C_1 为元素在残余水溶液中的浓度, C_s 为元素在结晶固相中的浓度, D 为总分配系数, t 为饱和水溶液中溶质所占比例, 根据(1)式, 有:

$$-\Delta F Q t D(C_1 + \Delta C_1) + Q(F + \Delta F)(C_1 + \Delta C_1) = Q F C_1 \quad (2)$$

上式左边第一项中, $-\Delta F Q$ 为 ΔT 时间内转变为固相和溶剂水的那部分饱和水溶液的质量 (ΔF 为负值, 故 $-\Delta F$ 为正值), $-\Delta F Q t$ 为分离出的固相的质量, 而 $D(C_1 + \Delta C_1)$ 为分离出的固相中元素的浓度, 所以 $-\Delta F Q t D(C_1 + \Delta C_1)$ 应为 ΔT 内分离出的固相中该元素的质量。对其余两项可作类似分析。对(2)式作适当处理, 并令 ΔF 趋向于 0, 有微分方程

$$\frac{1}{Dt - 1} \cdot \frac{dC_1}{dF} = \frac{C_1}{F} \quad (3)$$

解程(3), 注意 $F=1$ 时, 水溶液中元素的浓度为 C_0 , 有

$$C_1 = C_0 F^{Dt-1} \quad (4)$$

由 $C_s = DC_1$, 又有

$$C_s = DC_0 F^{Dt-1} \quad (5)$$

形式上, (4)、(5)式与描述岩浆结晶分异作用中元素行为的数学模型 (Allegre et al., 1978) 十分相似, 只是在指数项中多了参数 t , 即由 Dt 替代了 D 。正是参数 t 反映了两个体系的基本区别, 体现了水化学体系中溶剂水大量存在这一基本事实, 它引起体系性质的一系列变化。我们知道, 在研究岩浆作用时, 通常把 D 小于 1 的元素称为不相容元素, 反之为相容元素。随着岩浆结晶分异作用的进行, 不相容元素在液相中不断富集, 而相容元素则不断贫化, 即 D 值大小完全决定了元素在不同相中的富集、贫化趋势。但是, 从(4)、(5)式可知, 对于盐类沉积, 不是 D 值, 而是 Dt 值决定了元素在不同相中的贫化富集能力。根据定义, t 值一定小于 1, 所以一些 D 值大于 1, 但其 Dt 值仍小于 1 的元素也可在残余液相中富集。可见 D 和 Dt 具有不同的含意, 可分别把它们定义为定性分配系数和定量分配系数。

1.2 描述元素间线性关系的数学模型

由(4)式, 对于元素 x, y , 有:

$$C_1^x = C_0^x F^{D_x t - 1} \quad (6)$$

$$C_1^y = C_0^y F^{D_y t - 1} \quad (7)$$

由(6)、(7)式消去 F :

$$C_1^y = C_0^y (C_0^x)^{\frac{1-D_y t}{1-D_x t}} \quad (8)$$

它的一阶和二阶增数分别为:

$$\frac{dC_1^y}{dC_1^x} = C_0^y (C_0^x)^{\frac{1-D_y t}{1-D_x t}} \cdot \frac{1-D_y t}{1-D_x t} \cdot (C_1^x)^{\frac{D_x t - D_y t}{1-D_x t}} \quad (9)$$

$$\frac{d^2(C_1^y)}{d(C_1^x)^2} = C_0^y (C_0^x)^{\frac{1-D_y t}{1-D_x t}} \cdot \frac{(1-D_y t)(D_x t - D_y t)}{(1-D_x t)^2} \cdot (C_1^x)^{\frac{2D_x t - D_y t - 1}{1-D_x t}} \quad (10)$$

由曲率公式:

$$K = \frac{|d^2(C_1^y)/d(C_1^x)^2|}{[1 + (dC_1^y/dC_1^x)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (11)$$

把(9)、(10)式代入,整理可得:

$$K = \frac{|C_i^x C_i^y (1 - D_x t) (1 - D_y t) (D_x t - D_y t)|}{[(C_i^x)^2 (1 - D_x t)^2 + (C_i^y)^2 (1 - D_y t)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (12)$$

分析(8)、(9)、(10)、(12)式,可获得如下认识:1) C_i^x 和 C_i^y 呈幂函数关系,曲线呈单调变化,无拐点,其增减性和凹凸性不受饱和水溶液中元素初始浓度的影响,只受参数 D_x 、 D_y 、 t 的制约。2) 曲线曲率关于 D_x 、 D_y 对称,即互换 D_x 、 D_y ,不引起曲线曲率变化。 $|D_x - tD_y t|$ 越小,曲线曲率越小,当 D_x 和 D_y 相等时,曲线曲率为 0,曲线退化为直线。由于小参数 t 的存在,曲线曲率通常较小。

当曲线曲率较小,曲线近似为直线时,可用直线方程作近似拟合。由点斜式:

$$C_i^y = \frac{dC_i^y}{dC_i^x} \Big|_{F=F_i} \cdot C_i^x - \left[\left(\frac{dC_i^y}{dC_i^x} \right) \Big|_{F=F_i} \cdot C_i^x - C_i^y \right] \quad (13)$$

按(6)、(7)、(9)式,把 $F=F_i$ 时的 C_i^x 、 C_i^y 、 $\frac{dC_i^y}{dC_i^x} \Big|_{F=F_i}$ 代入(13)式,有:

$$C_i^y = F_i^{(D_y t - D_x t)} \cdot \frac{C_i^y (1 - D_y t)}{C_i^x (1 - D_x t)} \cdot C_i^x + F_i^{(D_y t - 1)} \cdot \frac{C_i^y (D_y t - D_x t)}{(1 - D_x t)} \quad (14)$$

当 $F_i=1$,即作用过程刚开始时:

$$C_i^y = \frac{C_i^y (1 - D_y t)}{C_i^x (1 - D_x t)} \cdot C_i^x + \frac{C_i^y (D_y t - D_x t)}{(1 - D_x t)} \quad (15)$$

从(14)、(15)式可知:1) 直线的斜率和截距有明确的地球化学意义,它们由 C_0 、 D 、 t 等参数构成;2) 当 $D_x t$ 和 $D_y t$ 都小于 1 时,直线斜率为正,直线交于 D (或 Dt) 值相对较大之元素轴,由此可判断两元素不相容性的相对大小;3) $D_x = D_y$ 时,直线的截距为 0,拟合直线退变为通过原点的直线,直线斜率为 C_i^y/C_i^x ;4) 与岩浆结晶分异作用比较,(14)、(15)式中存在小参数 t ,故其截距通常更小。

对固相中元素间关系的研究,也可获得类似的认识。这里只给出其线性拟合方程:

$$C_i^y = F_i^{(D_y t - D_x t)} \cdot \frac{D_y C_i^y (1 - D_y t)}{D_x C_i^x (1 - D_x t)} \cdot C_i^x + F_i^{(D_y t - 1)} \cdot \frac{D_y C_i^y (D_y t - D_x t)}{(1 - D_x t)} \quad (16)$$

模型的导出不但深化了盐类沉积地球化学研究,特别是,由于应用了元素分配系数概念,可把岩浆作用,化学沉积作用元素间的相关行为在更高层次上作全面的对比研究。把模型应用于黄海海水和泌阳凹陷安棚地区碱卤水蒸发实验研究,取得了可喜成果。

2 应用实例

陈郁华等^①对黄海海水作了等温蒸发实验。根据实验结果,他们把海水蒸发过程划分为七个阶段,每个阶段都有不同组合的矿物析出。他们分析了不同阶段的液相组成和后五个阶段析出的矿物集合体固相组成,分析元素包括 K、Na、Ca、Mg、Li、Rb、Sr、B、Br、Cl、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 等。根据实验数据,计算了后五个阶段元素的总分配系数(表 1),可见不同元素的总分配系数取值差异较大。一些元素的总分配系数为常数或近于恒定(例如 Li、B、Br),一些元素的总分配系数虽有一定变化,但存在变化规律,例如 Cl 有减小的趋势,而 Mg 有增大的趋

^① 陈郁华等,1982,黄海海水的化学成分及析盐序列。

表 1 某些元素的总分配系数(根据蒸海海水蒸发实验结果计算)

Table 1 Bulk distribution coefficients of some elements calculated according to the evaporation experiment of sea water from Huanghai

序号	阶段	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Br ⁻	Li ⁻	Rb ⁺	Sr ²⁺	B ³⁻
6	II ₂	—	4.72	5.10	0	0.229	3.86	0.18	0	0.291	0.71	0
8	IV ₂	0.0279	11.69	7.07	0.0015	0.024	4.01	0.144	0	0.065	3.1	0
9	V	1.903	8.80	3.13	0.95	3.18	1.165	0.120	0	3.85	—	0
10	VI	76.74	26.22	2.86	0.98	5.30	1.05	0.277	0	—	—	0.034
11	VI	1.25	0.476	—	0.92	0.045	1.03	0.505	0	—	—	0.0047

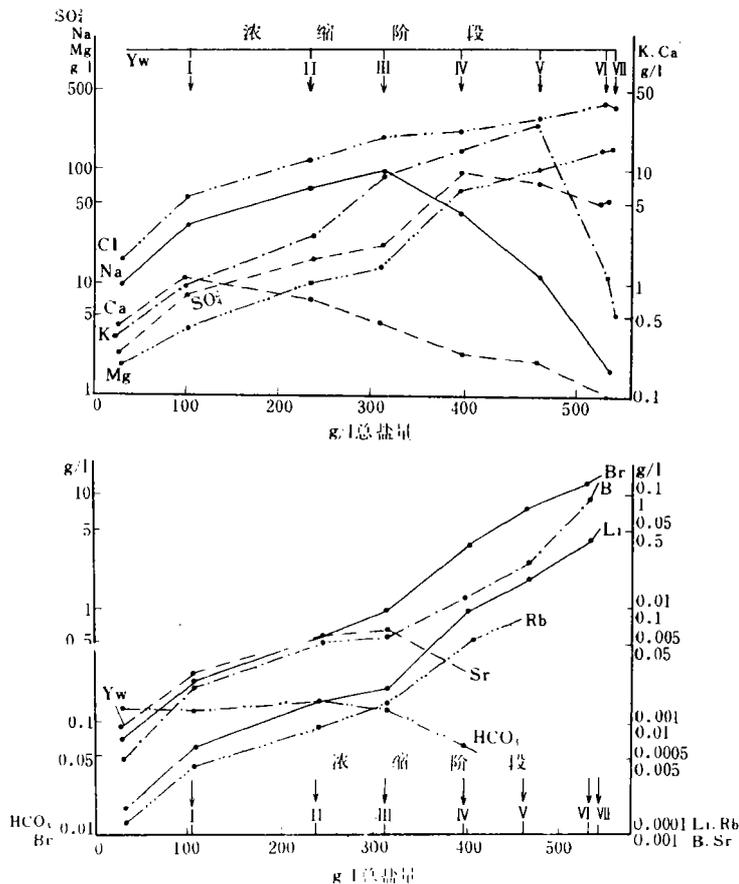


图 1 黄海水蒸发过程元素含量变化曲线
(YW 代表原始海水, I — VII 代表不同的蒸发阶段)

Fig. 1 Variant curves of element contents in the evaporation process of sea water from Huanghai
(YW represents original sea water, I — VII represent different evaporation stages)

势。较多元素的总分配系数变化较大,且无规律可循。元素总分配系数的取值及变化与蒸发过程中析出矿物的组合变化密切相关,决定了蒸发过程中各元素的地球化学行为,图 1 清楚地说明了这点。1)元素 Li、B、Br、Mg 的总分配系数 D 小于 1,根据(4)式及 t 恒小于 1,它们

在液相中的浓度将随蒸发作用的进行(即 F 的减小)而逐渐增高;2)某些元素,虽然 D 值大于 1,但由于 t 值小于 1,使 Dt 小于 1,而同样出现 C_i 随 F 减小而增大的现象(例如 Cl),这与岩浆作用过程的具有明显区别;3)对于 D 值很大,使 Dt 值也大于 1 的元素(例如 Ca),随蒸发作用的进行,它们在残余液相中的含量将逐渐降低;4)虽未求得第一、二蒸发阶段元素的总分配系数,从图 1 看,除 Ca 外,其余元素的 Dt 值都小于 1,故其 D 值也应较小;5)残余液相中元素浓度的变化趋势受控于不同阶段元素的 Dt 值,当元素的 Dt 值由小于 1 变为大于 1 时,元素浓度将从上升趋势转变为下降趋势(例如 K 、 Na 、 Sr 等)。

根据(4)式,若 D 、 t 、 C_0 为已知,即可计算不同蒸发阶段(F_i)残余液相中的元素浓度。例如,由 $D_{Li} = 0$, $C_0^{Li} = 0.00016$,有 $C_i^{Li} = 0.00016/F$ 。这是最简单的情况。计算结果表明其最大误差小于 3 倍。同时,随着蒸发作用的进行(即 F 值减小),计算误差有增大的趋势,这与 D_{Li} 取值并不为 0, D_{Li} 和 t 都有一定变化有关。

根据对液相中元素间相关系数的分析,可得出如下认识(也参见图 1 和表 1):1)总分配系数较小且变化不大,或取值稍大但呈有规律变化的元素,相互间通常具有很高的相关性,例如 Li 、 B 、 Br 、 Mg 等,其相关性通常在 0.90 以上;2)总分配系数取值变化大,但变化趋势一样的元素,相互间也可具有很高的相关性,例如 Rb 和 K ,其相关性为 0.94;3)总分配系数取值较大,变化又不一致的元素,相互间的相关性都较低,例如 Ca 与其它元素,其相关性通常在 0.70 以下。一些元素间的相关系数小,与它们在后期阶段行为发生较大的差异变化有关(例如 K 和 Mg)。在早期阶段,许多元素间都具有良好的相关关系。

图 2 给出了一些典型元素间变异图解。从图可知:1)液相中元素 Li 与 Rb 、 Br 、 K 和 Rb 、 Mg 、 Br 都具有很好的线性关系,拟合直线都近于通过原点(图 2a、b、c、e)。该现象可从(14)、(15)式得到很好解释,如果两元素的总分配系数很小或

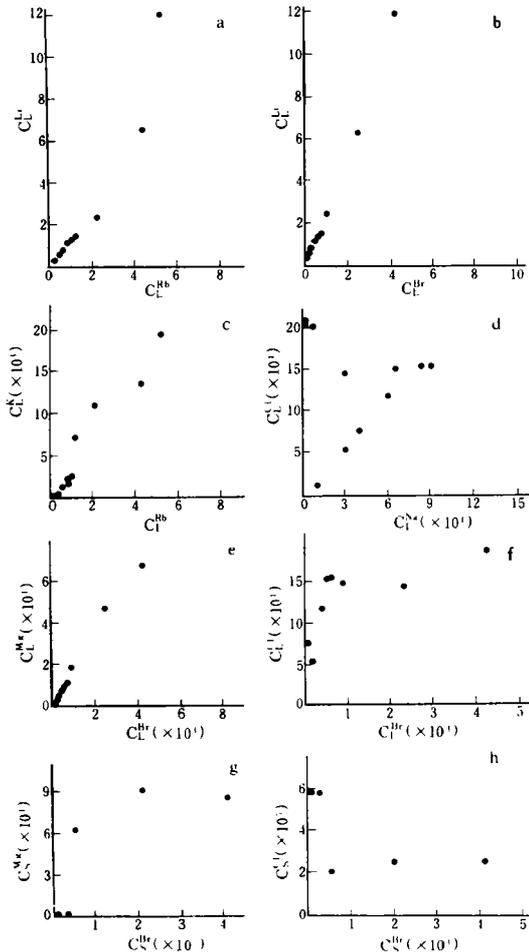


图 2 元素含量变异图(据黄海海水蒸发实验)

Fig. 2 Variations in element contents plotted according to the evaporation experiment of sea water from Huanghai

相近, $|D_y t - D_x t|$ 很小,直线截距就会接近于 0;2)液相中元素 Cl 与 Na 、 Br 在早期阶段都呈

良好的正相关线性关系,在晚期阶段却表现出不同的演化趋势(图 2d、f)。其原因是在早期阶段,它们的 D 值都较小, D_t 值都小于 1,故有正相关;在晚期阶段,钠的 D 值增大,其 D_t 值大于 1,故 Cl—Na 呈反时针方向演化。而溴的 D 值仍较小,其 D_t 小于 1,故 Cl—Br 呈顺时针方向演化。这也可从图 1 中 Br 与 Cl 的变化曲线对比看出;3)固相中元素间的关系也受其总分配系数的制约,由于 D_{Mg} 和 D_{Br} 都小于 1,固相中 Mg 和 Br 呈正消长关系。对比(14)和(16)式可知,与液相比较,元素总分配系数的变化对固相中元素间的关系会产生更大的影响,所以, D_{Mg} 和 D_{Br} 的非同步变化,虽未很大大地影响液相中 Mg 和 Br 的线性相关性,却使固相中两元素的线性关系减弱而呈曲线变化(图 2g)。由 D_{Br} 和 D_{Cl} 的取值及变化也可解释固相中 Br 和 Cl 之间的反消长曲线关系(图 2h)。

表 2 元素相关系数(据安棚卤水矿卤水不同蒸发阶段的溶液组成计算)

Table 2 Correlation coefficients of elements calculated according to liquid compositions at different evaporation stages of brine from Anpeng brine deposit

	K	Na	CO ₃	SO ₄	Cl	Br	I	F	Li	Rb	Sr	B ²⁺
K												
Na	0.65	—										
CO ₃ ²⁻	0.59	0.99	—									
SO ₄ ²⁻	0.97	0.67	0.61	—								
Cl	0.98	0.66	0.61	0.97	—							
Br	0.98	0.65	0.6	0.97	0.99	—						
I	0.98	0.70	0.65	0.96	0.99	0.99	—					
F	0.89	0.78	0.73	0.84	0.87	0.86	0.91	—				
Li	0.58	0.67	0.61	0.97	0.99	0.99	0.99	0.88	—			
Rb	0.98	0.64	0.59	0.97	0.99	0.99	0.99	0.86	0.99	—		
Sr	0.86	0.83	0.79	0.65	0.60	0.59	0.63	0.75	0.60	0.56	—	
B ³⁺	0.98	0.67	0.62	0.87	0.99	0.99	0.99	0.88	0.99	0.99	0.60	—

表 2、3 和图 3 是根据河南泌阳安棚碱卤水等温蒸发实验数据作出的^①。实验共分 15 个蒸发阶段。根据这些资料可获得如下认识;1)许多元素间通常都具有较好的线性相关性,表明它们的总分配系数都不大且变化也小。这与黄海海水的等温蒸发实验结果有很大不同。2)根据拟合直线方程(表 3)及拟合直线交于 D 值相对较大的元素轴的规则,可排出元素 D 值从大到小的相对顺序(Sr、Na、HCO₃⁻与其它元素的相关性低来参加排列):F>K>B>Cl>Li>SO₄²⁻≥I>Br>Rb。这也是元素定性不相容性增大的顺序,反映了元素残余于液相或进入固相的相对难易程度。3)许多拟合直线的截距都较小(表 3),这与式(14)、(15)中截距项

① 陈郁华等,1988,河南省泌阳凹陷安棚碱矿含碱岩系物质组份。沉积环境及钾盐成矿条件分析研究报告。

表 3 某些元素的拟合方程及拟合直线的余率与 C_2/C_1 比值的对比(据安棚卤水矿卤水蒸发实验结果计算)Table 3 Regression equations for some elements and comparison of slopes of regression line and C_2/C_1 ratios, all being calculated according to the evaporation experiment of brine from Anpeng brine deposit

拟合方程	C_2/C_1	拟合方程	C_2/C_1
$F=0.27K+0.17$	0.13	$K=1.92B+0.98$	5.80
$B=0.53Cl+0.03$	0.40	$Cl=100Li+0.15$	100
$Li=0.07SO_4^{2-}+0.06$	0.14	$SO_4^{2-}=106I+0.16$	75
$I=0.26Br+0.05$	0.22	$Br=0.66Rb+0.05$	0.75

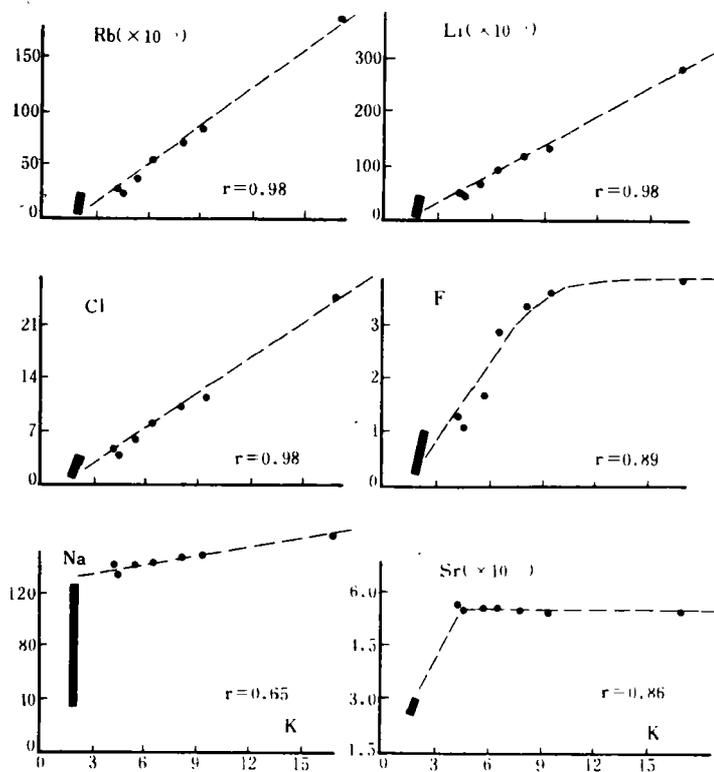


图 3 元素含量变异图(据安棚卤水矿卤水蒸发实验)

Fig. 3 Variations in element contents plotted according to the evaporation experiment of brine from Anpeng brine deposit

里存在 $(D_t - D_0)$ 一项有关,也与初始值 C_0 低有关。4) 拟合直线的余率变化较大,这与式(14)、(15)中斜率项里存在 C_2/C_1 一项,而不同元素的 C_0 值差异较大有关。由于拟合直线截距近于为 0,故两元素的分配系数相近。这时拟合直线的斜率接近于元素初始含量比值。表 3 清楚地说明了这点。

图 3 中,粗黑线代表前 8 个蒸发阶段元素间演化关系,可以看出,在不同阶段,不同元素的含量变化及不同元素间的相互关系都有较大的差异。其中,元素 Na、Sr 与 K 在前后不同

阶段相互关系明显不同,表明随着蒸发过程的进行,不同元素的总分配系数发生了大的变化。

结 论

本文推导了半封闭体系盐类化学沉积元素间关系的数学模型,并应用于实际资料的研究。获得如下主要认识:1)总分配系数的取值及变化与固相析出矿物的种类和比例有关。对于某些常量元素,一种新矿物的析出会大大改变其总分配系数,而微量元素的分配系数变化通常较小。这显然与它们的含量差异有关。2)半封闭体系盐类化学沉积元素间的相互关系,与岩浆结晶分异作用中的行为十分相似,只是多了一个反映固液比例的参数 D 。它们具有一些共同的特征:①元素 x 和 y 为幂函数关系,拟合直线是对曲率很小的曲线关系的一种近似;②对于 D 值都小于1的两元素,拟合直线将交于 D 值相对较大的元素轴上;③当两元素的 D 值相近时,拟合直线的截距近于为0,其斜率近于为 C_x^0/C_y^0 。3)在整个作用过程中,总分配系数取值相近的元素,相互间呈很好的线性关系。所谓取值相近,包括:①两元素 D 值都很小;② D 值大,但取值相近且恒定;③ D 值变化虽大,但是同步变化。4)实际情况中,由于各元素的 D 值通常并非恒定, t 值也有变化,所以据(14)–(16)式作的计算,只是定性的结果,5)在不同的演化阶段,元素间可具不同的相关性,这与不同元素的总分配系数的不同步变化有关。某些元素间呈曲线关系,可由总分配系数发生有规律变化引起,并非只由作用过程变化所致。6)不同的体系,同一元素对可表现出不同的相关性,所以体系的化学组成会对元素的地球化学行为产生影响。

以上认识,对深化包括结晶分异在内的岩浆作用过程元素间相关行为的研究也十分有益。

致谢 陈郁华先生提供了未公开发表的资料,研究过程中曾得到吴必豪先生的帮助。深表谢意。

收修改稿日期:1993-4-25

参 考 文 献

- [1] 王方正,1990,长江口海域铜的地球化学初步讨论,地球化学,(2):90~96。
- [2] 万渝生,1987,大洋玄武岩中元素对线性关系的一种解释,地球科学,12(4):171~177。
- [3] 万渝生,1990,论构造地球化学图解的局限性,地球探索,(2):98~104。
- [4] 张寿广等,1991,北秦岭宽坪群变质地质,北京科学技术出版社,1~119。
- [5] Allegre, C. J. and Minster, J. F., 1978, Quantitative models of trace element behavior in magmatic processes, Earth Planet. Sci. Lett., (38):1~25.
- [6] Calvert, S. E. et al., 1984, Geochemistry of ferromanganese nodules from DOMES site, northern equatorial pacific, multiple diagenetic metal sources in the deep sea, Geochem. Cosmochem. Acta. 40(10):1913~1928.
- [7] Sun, S. S. et al., 1979, Geochemical characteristics of Mid-ocean Ridge basalts, Earth Planet. Sci. Lett., 44(1):119~138.
- [8] Wood, D. A. et al., 1981, Trace element variations in Atlantic ocean basalts and Proterozoic dykes from northwest Scotland: their bearing upon the nature and geochemical evolution of the upper mantle. Tectonophysics, 75(1-2):91~112.

Research on Linear Relationships Between Elements in Chemical Sedimentary Process —— Taking Saline Deposits for Example

Wan Yusheng Li Zhilong

(Institute of Geology, CAGS)

Abstract

On the basis of study of geochemical behavior of single elements, the paper has established a mathematic model for linear relationships between elements in the chemical sedimentary process of a semi-closed system:

$$C_l = F_i^{(D_x t - D_y t)} \frac{C_x^0(1 - D_y t)}{C_x^0(1 - D_x t)} C_i^0 + F_i^{(D_y t - 1)} \frac{C_y^0(D_x t - D_x t)}{(1 - D_x t)}$$

which is very similar to that of magmatic fractional crystallization (Wan Yusheng, 1990). In the formula, C_x^0 , C_y^0 and C_x^1 , C_y^1 represent the contents of elements x and y in original saturated solution and residual saturated solution respectively, D_x and D_y are bulk distribution coefficients of x and y, F_i is residual ratio of saturated solution, and t is solute proportion in saturated solution. Examples have also been given to show how to apply the method to research on saline sedimentation. Following are some main conclusions:

1) The regression line represents the result of the linear regression of a curve with less curvature. For an incompatible element-pair, the more similar the properties of two elements and the smaller their bulk distribution coefficients are, the better the regression line is.

2) The intercept and slope of the regression line have clearly geochemical significance. Both of them are constituted by the parameters C_x^0 , C_y^0 , D_x , D_y , t and F_i . If x and y are incompatible, then the slope of the line will be positive and the line will intersect a relatively compatible element axis. When D values of x and y are similar, the intercept and slope of the regression line are close to zero and C_x^0/C_y^0 respectively.

3) There could be different degrees of linear correlations between two elements of element-pair at different stages of evolution of the saline water, resulting from asynchronous variations of the bulk distribution coefficients of the elements. And in different saline water systems, the same element-pairs can represent different degrees of linear correlations, so the chemical compositions of the systems will strongly influence the geochemical behaviors of the elements.