·成矿理论研究·

古混合线 Rb-Sr 定年法及其在滇西北衙金矿研究中的应用

吴开兴[1,2]，胡瑞忠[1]，毕献武[1]，彭建堂[1]

1. 中国科学院 地球化学研究所矿床地球化学重点实验室，贵阳 550002；2. 中国科学院 研究生院，北京 100039

关 键 词：Rb-Sr 同位素定年；成矿年龄；北衙金矿；云南

确定热液矿床的成矿时代对理解矿床成因往往有十分重要的意义。然而，通常形式的矿化只含有石英、碳酸盐、硫化物等有限的矿物种类，往往不能满足传统同位素定年方法的条件，使得矿床定年成为大多数矿床研究的一大难题。因此，Haack (1990)首先提出了二元混合模式的 Rb-Sr 定年方法。作者将混合模式的 Rb-Sr 定年方法与常规的 Rb-Sr 等时线法联系起来，使得用常用的同位素定年程序(isoplot)进行年龄计算及误差估计成为可能。并应用该方法对滇西北衙金矿的成矿时代进行了厘定。

1　混合模式的 Rb-Sr 定年法

传统的 Rb-Sr 定年法的条件是，假定一组同成因样品的初始锶同位素比值 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$ 是相同的，而 $^{87}Rb/^{86}Sr$ 存在差异，封闭体系，其计算公式为：

$$(^{87}Sr/^{86}Sr)_{\Sigma}=(^{87}Sr/^{86}Sr)_0+{}^{87}Rb/^{86}Sr\times(e^{\lambda t}-1), \quad (1)$$

式中 t 为欲测地质体年龄，t 与 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$ 都是未知的，但对于一组同成因样品而言它们都是恒定的。这样，式中只有两个变量，即 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_{\Sigma}$ 和 $^{87}Rb/^{86}Sr$，可由样品实测而得。这样，样品实测 Rb-Sr 同位素比值在 $^{87}Rb/^{86}Sr$-$^{87}Sr/^{86}Sr$ 图中呈一条直线，叫做等时线，依据等时线斜率可计算年龄 t。然而，对于先成岩石的热液蚀变(矿化)事件，流体与岩石作用产生同位素混合，蚀变组合样品继承了不同比例的岩石 Sr 和流体来源 Sr，从而使样品的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$ 不同，这种情况显然不能用传统的 Rb-Sr 等时线法进行定年。假定在时间 t_0 时流体与岩石作用使岩石发生蚀变(矿化)，产生二元同位素混合，蚀变组合样品的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$ 在 $^{87}Sr/^{86}Sr$-$1/^{86}Sr$ (或 1/Sr)图中决定一条直线，可表示为：

$$(^{87}Sr/^{86}Sr)_0=(a\times 1/Sr)+b, \quad (2)$$

由方程(1)变形可得：

$$(^{87}Sr/^{86}Sr)_0=(^{87}Sr/^{86}Sr)_{\Sigma}-{}^{87}Rb/^{86}Sr\times(e^{\lambda t}-1), \quad (3)$$

用迭代法在方程(3)中代入不同的 t 值，求得不同 t 时各样品的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$-1/Sr 作图，当 $t=t_0$(蚀变或矿化年龄)时，方程(2)和(3)同时成立，各样品点在 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$-1/Sr 图上呈一直线。换言之，当各样品点在 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$-1/Sr 图上线性关系最佳(最佳混合线)时的 t，即为矿化年龄 t_0，根据最佳混合线的回归方程可确定 a、b 的值。方程(2)和(3)联立可得：

$$(^{87}Sr/^{86}Sr)_{\Sigma}-(a\times 1/Sr)=b+{}^{87}Rb/^{86}Sr\times(e^{\lambda t}-1)(\text{其中 } t=t_0), \quad (4)$$

令：$(^{87}Sr/^{86}Sr)^*=(^{87}Sr/^{86}Sr)_{\Sigma}-(a\times 1/Sr)$，

(5)

则有：

$$(^{87}Sr/^{86}Sr)^*=b+{}^{87}Rb/^{86}Sr\times(e^{\lambda t}-1)(\text{其中 } t=t_0)。 \quad (6)$$

方程(6)具有与方程(1)相同的形式，由 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$ 在 $^{87}Sr/^{86}Sr$-1/Sr 图上的最佳混合线斜率可计算矿化年龄 t_0。因此，可用常用的 isoplot 程序进行年龄计算和误差估计，在输入数据时只需用由公式(5)计算得到的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)^*$ 值代替实测的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 即可。

2　应用实例：北衙金矿成矿年龄厘定

5 件与成矿流体有关的全岩或单矿物样品实测的 Rb-Sr 同位素比值在 $^{87}Rb/^{86}Sr$-$^{87}Sr/^{86}Sr$ 图解中线性关系很差，传统的 Rb-Sr 等时线法求得的矿化年龄为 72±78 Ma，MSWD=547，这个年龄显然毫无意义。因为，所分析的 5 件与成矿流体有关的样品中，2 件为蚀变程度不同的斑岩样品，2 件为灰岩蚀变重结晶方解石样品，1 件为脉状石英样品，均为

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

成矿流体与斑岩或灰岩作用(后)的产物,矿化事件在锶同位素组成上表现为成矿流体与斑岩和/或灰岩之间的不平衡混合,由于矿区外围无蚀变斑岩及无蚀变灰岩在锶含量及锶同位素组成上都非常接近,这些样品在初始锶同位素组成上应表现为二端员或假二端员混合的线性关系,符合混合模式 Rb-Sr 法定年条件。用迭代法在方程(3)中代入不同的 t,求得不同假设矿化年龄时的$(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$,并对 1/Sr 作图。当 $t=33$ Ma 时得到$(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$ 最佳混合线,其回归方程为:$^{87}Sr/^{86}Sr = 0.0747\times 1/Sr + 0.7076$,$R^2=0.9998$,即 $a=0.0747$,$b=0.7076$。由公式(5)求得各样品点$(^{87}Sr/^{86}Sr)^*$,估计误差为 0.05%。用 isoplot 程序计算的蚀变(矿化)年龄为 33±1.5 Ma, MSWD=0.449。去掉一个$^{87}Rb/^{86}Sr$ 值最高的强蚀变斑岩样品后,其余 4 个样品仍能得到与上述十分一致的矿化年龄(32.7±3.8 Ma)及很低的 MSWD 值(0.659),说明该年龄有效。而 Ar-Ar 坪年龄及 K-Ar 年龄表明,矿区富碱斑岩的成岩时代为 24.56~38.36 Ma,平均 32.97 Ma(n=6)。矿化(成矿)年龄与富碱斑岩成岩年龄十分一致,表明金成矿与富碱斑岩岩浆活动密切相关。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net