

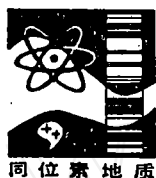
微机在普通铅 同位素数据处理中的应用

姜明辉 王树侗

(西北有色金属地质研究所)

铅同位素的微机数据处理程序,使同位素特征数值处理与分析、正常铅非封闭系统或两阶段年龄计算和异常铅多阶段年龄计算得以快速、准确地实现。本文介绍了这一计算系统及其在地质中的应用。

关键词: 铅同位素; 数据处理; 微机



同位素地质

在有色金属矿床学的研究中,运用普通铅同位素测定数据解决成矿时代和矿床成因问题,虽已引起地质学界的广泛重视,但是遇到了数据处理和计算过程都非常繁杂的困难。本文为解决这一困难,引入了电子计算机技术,并设计了处理程序。

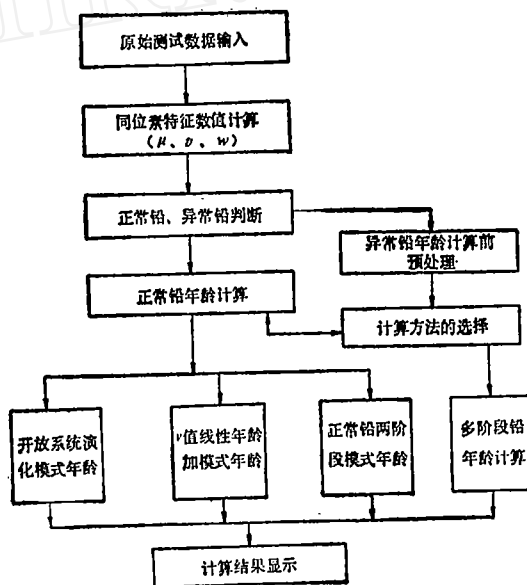
根据原子衰变遵循的基本规律,对 ^{238}U 衰变为 ^{206}Pb 的过程,可作下列数学表达:

$$X_m = a_0 + \sum_{i=1}^m \mu_i (e^{\lambda_i t_{i-1}} - e^{\lambda_i t_i})$$

式中, $X = ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $\mu = ^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$, m ——铅在U—Th体系中生长的阶段数目; t_m ——矿化结束的时间; a_0 ——原始 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 。

Y (即 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) 和 Z (即 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) 可以写成类似的公式。这就是普通铅演化的基本公式。很显然,这些公式都是隐函数,一般需迭代求解,手解极费时。为此,大多数矿床研究者为了避开繁杂的计算,都采用查表或图解法去简单地处理数据,只能得到一些概略的结果。本来是用质谱仪精确测定的同位素数据,因得不到相应精度的处理,损失掉大量的信息,而不能充分地得以利用。计算机技术的引入,使这种状况有了根本的改善。此次设计的程序,首先对铅同位素特征数值的计算开始,经正常铅异常铅的判断和自动区别,对正常铅实现几种非封闭系统和两阶段的年龄计算,对

异常铅实现各种预处理功能,最后实现多阶段年龄的逐步运算,从而使普通铅同位素数据处理构成一个完整的系统。其程序的基本结构框图如下所示。



矿区或矿床中铅同位素特征,一方面体现在数值的稳定性上,另一方面体现于物质源区的 $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ (μ 值)、 $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$ (w 值) 和U/Th等比值。因此,一组测定数据的变化率及其特征数值的计算往往成为研究不同类型矿床的标志前提。众所周知,普通铅中的正常铅和异常铅的区别,具有重要的地质意义,不少人依此判定金属矿床的成因类

型。这两种不同同位素的最基本的区别之一就在于 μ 值和 w 值有不同的特定区间。正常铅的 μ 值一般在 8.686~9.238 之间; w 值在 35.55±0.59 之间。因此, 首先计算单阶段封闭系统模式年龄, 并依此反算物质源区的 μ 值, 最后使计算机根据给定的变化范围, 实现自动区别正常铅和异常铅。这就从根本上改变了单纯靠同位素的变化率或不精确的投图方法的现状, 使这两种铅的判别数据化、自动化, 更趋于精密和科学。

正常铅年龄计算, 常用的是 H·H 法, R·F·C 法和 R·S·F 法。这是一些建立在铅同位素按单阶段封闭系统演化模式基础上的计算方法。国内外大量的计算结果表明, 上述方法的计算结果都与真实年龄存在着较大差异。很显然, 这种单阶段封闭系统的演化模式与客观情况的复杂性相距甚远。因此, 1973 年辛哈和蒂尔顿提出了开放系统演化模式; 1975 年卡明提出了 ν 值 ($^{235}\text{U}/^{204}\text{Pb}$) 线性增加演化模式; 同年斯塔西和卡拉米尔斯还提出了一个封闭系统两阶段的演化模式。遗憾的是, 虽然这些演化模式均较符合铅同位素演化的客观实际, 但因计算公式较复杂, 很少看到具体运用的实例。

例如, 开放系统演化模式年龄计算公式:

$$X = a_0 + \mu_0 \left((1 - e^{-\lambda(T_0 - t)}) \left(1 + \frac{k}{\lambda} \right) + k + (T_0 - t)e^{-\lambda(T_0 - t)} \right)$$

式中, T_0 ——地球形成年龄; t ——矿物结晶时间; λ —— ^{238}U 的衰变常数; k ——转换常数。

再如 ν 值线性增加模式年龄计算公式:

$$X = a_0 + \mu \nu_p \{ e^{\lambda t} (1 - \varepsilon(T_0 - 1/\lambda)) - e^{\lambda t} (1 - \varepsilon(t - 1/\lambda)) \}$$

式中, ν_p ——现代的 $^{235}\text{U}/^{204}\text{Pb}$; ε ——比值因素。

两阶段演化模式是假定第一阶段的 $\mu_0 = 7.19$, $w_0 = 32.21$, 至 37 亿年左右发生了分离事件, 进入第二阶段演化。第二阶段 $\mu_1 = 9.14$, $w_1 = 37.19$ 。因此, 在这个模式的年龄计算中, 必然要用到平均现代铅的同位素组成和第二阶段开始的时间 t_1 。这样计算第二阶段演化至矿物结晶时的年龄, 过程也

是极为复杂的。

改进后的正常铅模式年龄计算, 不借助于计算机技术是很难实现的。而一旦引进计算机技术, 就都能快速得到结果。这无疑为正常铅模式年龄的计算开拓出一条新途径。

异常铅是完全不同的另一类铅, 其同位素演化是在两个和两个以上的 U-Th-Pb 体系中进行的, 也叫做“多阶段铅”。在异常铅的诸多特征中, 相同来源和相同演化历史的铅样品, 其同位素组成在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 坐标图上具线性关系和分布于初始等时线之外, 恐怕是最重要的特征了。因此计算多阶段铅年龄的第一步是数据的线性拟合。这种异常铅线实际上也就是等时线, 其斜率 R 可以根据测定数据用最小二乘法求出。又因为:

$$R = \frac{Y_1 - b_0}{X_1 - a_0}, \text{ 即 } R = \frac{e^{\lambda' t_1} - e^{\lambda' t_2}}{137.8(e^{\lambda' t_1} - e^{\lambda' t_2})}$$

式中 $\lambda' ^{235}\text{U}$ 是衰变常数

所以, 当 t_1 或 t_2 的任何一个年龄是已知时, 另一个便可计算出来。因此, 计算多阶段铅年龄的第二步是用最小二乘法求 R 。第三步是确定 t_1 。 t_1 的确定又直接与异常铅的分类联系在一起。这里主要是要求知道异常铅线与铅的正常演化曲线的交点。因为在许多情况下, 就依这一交点的正常铅年龄作为 t_1 。第四步才能依 t_1 计算出第二阶段 (即异常铅等时线) 的年龄。第五还可依此法计算三阶段和更高序列的多阶段体系中形成的异常铅年龄。

不难看出, 一组数据的上述计算过程将更为复杂。此次发挥计算机快速、精确的优势, 实现了数据拟合、求斜率、求交点和 t_1 的自动选择计算等要求, 从而使异常铅多阶段年龄的计算变得简单而快速。

以上所述, 普通铅同位素数据处理系统, 都已设计了计算机程序, 并已在 Apple-II 机上调试通过。对收集到的秦岭凤太、柞山、镇旬等铅锌矿田和陕西小秦岭金矿田的 37 件矿石铅同位素测定数据, 首次进行了特征识别和 ν 值线性增加及两阶段模式年龄计算。这些成果, 与矿区已有 Rb—Sr 放射性同位素年龄及已知的地质年龄都吻合的很好。

Processing Isotopic Composition Data of Common

Lead by Microcomputer

Jiang Minghui Wang Shuti

The treatment and analysis of the characteristic values of lead isotopic composition, the two-stage age calculation for common lead non-closed system and multiple-stage age calculation for anomalous lead could be quickly and accurately realized by a lead isotopic data processing program. This paper gives a brief introduction to this computation system and its application in isotope geology.