技术·方法

同位素地质学定年方法评述

赵玉灵[1] ,杨金中[1,2] ,沈远超[2]
(1. 中国国土资源航空物探遥感中心 ,北京　100083 ;2. 中国科学院地质与地球物理研究所 ,北京　100029)

[摘　要]详细分析了当前同位素年代学的常用定年方法 , 如 K - Ar 法、U - Pb 法、Rb - Sr 法和 Sm - Nd 法等的适用性和局限性 ; 讨论了地质事件定年过程中存在的一些问题 ;指出了准确定年的注意事项。

[关键词]同位素地质学　定年方法　适用性和局限性
[中图分类号]P597　[文献标识码]A　[文章编号]0495 - 5331(2002)02 - 0063 - 05

地质过程时间维的确定是一项重要而复杂的研究任务。准确标定某一地质体的年代是区域地质学、地球化学、矿床学和大地构造学研究中不可缺少的内容 ,对于区域地史演化规律的研究和找矿方向的确定 ,都具有十分重要的理论和实际意义。目前 ,地质体的定年主要采用的是 K - Ar 法、^{40}Ar - ^{39}Ar 法、U - Pb 法、Rb - Sr 法、Sm - Nd 法等 ,已经获得了非常丰富的资料。然而 ,由于地质作用过程的复杂性、多期性和测年方法及测试对象的局限性 ,对已经获得的年龄数据 ,不同的学者往往有不同的地质解释。因此 ,开展同位素定年方法学中有关问题的研究 ,不仅有助于重新认识、评价和应用已有的资料 ,而且有利于今后工作中同位素定年方法的改进。本文通过分析当前常用的定年方法的适用性和局限性 ,初步讨论了当前地质年代学研究中存在的一些问题。

1　K - Ar 法和^{40}Ar - ^{39}Ar 法评述

常规的 K - Ar 法定年主要建立在两个基本的假设条件之上。①矿物或岩石形成以后 ,对钾和氩保持封闭体系 ,既没有钾和氩的加入 ,也没有钾和氩的逃逸。②矿物或岩石中不含有大气氩 ;如果含有氩 ,则只能由大气混染造成 ,可以进行常规法定年的大气混染校正(穆治国 ,1990) 。然而 ,随着超高真空技术、高频辐射加热技术和高精度质谱计的使用 ,在 K - Ar 法定年过程中 ,发现了越来越多与上述假设相矛盾的现象。在后期岩浆活动、变质作用等热扰动事件的影响下 ,矿物中不仅可以出现氩的丢失 ,而且可以出现氩的过剩 (Aldrich 等 , 1948 ; 王松山 , 1974 ;Jeager 等 , 1985 ; 陈文寄等 , 1992 ; 李大明等 , 1999) 。因此 ,对于曾经历过多期岩浆 —变质 —构造活动改造的地质体 ,常规 K —Ar 法已经不是一种可靠的定年方法。目前 ,被称为现代 K - Ar 法的分步升温释氩法 ,即^{40}Ar - ^{39}Ar 法 ,由于克服了常规 K - Ar 法的许多缺点 (Mitchell , 1968 ; Dalrymple 等 , 1971) ,正在被广泛利用。但要获得一条极其平坦的^{40}Ar - ^{39}Ar 并不容易。即使对那些未受热扰动的矿物而言 ,由于样品临近脉岩侵入、轻微蚀变部位 ,或者在矿物结构中存在空穴、边缘错位和晶格空位 ,均会在反应堆照射过程中产生核反冲 ,引起氩同位素的迁移 ,从而影响年龄谱 ,特别是低温段年龄谱的平坦性。研究者提出了一些判别非扰动体系的年龄谱准则 (Dalrymple 等 , 1974 ; Fleck 等 , 1977 ; Berger 等 ,1981) ,可概括为 : (1) 具有 3 个以上相连的一致年龄坪 ,并具有超过 50 %的^{39}Ar 释放量 ; (2) ^{39}Ar 析出量超过 50 %时 ,能获得好的高温坪 ; (3) 与坪对应的氩同位素可以构成良好的等时线 ,其等时线年龄与坪年龄基本一致 ,其截距值与大气氩比值相差不大。满足所有这些条件的样品 ,一般可以认为它所代表的岩体具有简单地质热历史 ,^{40}Ar/ ^{39}Ar 保持着一个非扰动的封闭体系。

从原则上讲 ,含钾矿物均可以作为钾氩定年的测定对象。因此 ,适合于测定的对象很多 ,如云母

[收稿日期]2001 - 01 - 20 ;[修订日期]2001 - 02 - 01 ;[责任编辑]曲丽莉。
[基金项目]中国科学院创新工程项目(KZCX1 - Y - 03) 资助。
[第一作者简介]赵玉灵(1971 年 -) ,女 ,1994 年毕业于长春地质学院地质系 ,1997 年在长春科技大学获遥感地质学硕士学位 ,2001 年在中国地质大学北京获构造地质学博士学位 ,主要从事大地构造学、地理信息系统等方面的研究工作。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

类、长石类、闪石类、辉石族、海绿石、伊利石等。但是,由于后期地质作用的复杂性,一些含钾矿物形成以后,钾和氩的封闭体系往往被破坏,不适宜用于定年。同时,由于封闭温度的限制,如长石类、云母类矿物的 Ar 封闭温度远远低于花岗岩的结晶温度,使 K- Ar 法和^{40}Ar - ^{39}Ar 法通常不能给出花岗岩的"结晶年龄"(Harrison 等,1979;李献华等,1990)。因此,必须根据地质背景和不同的测年目的,考虑氩的存在状态,谨慎地选取测试对象。

2 U - Pb 法评述

U - Pb 体系定年较其它体系的优越性在于,铀有 2 个放射性同位素^{238}U 和^{235}U,分别衰变成 2 个铅同位素子体^{206}Pb 和^{207}Pb。通过这两个衰变系列,可以获得 3 个年龄值(^{206}Pb/^{207}Pb、^{207}Pb/^{235}U 和^{206}Pb/^{238}U)。这些年龄值的差异可以指示在同位素平衡以后,该体系受到干扰的程度(陆松年等,1995;陆松年,1995)。目前的研究表明,确定锆石的 U- Pb 法年龄值有如下几种选择:①当各锆石样品^{206}Pb/^{207}Pb、^{207}Pb/^{235}U 和^{206}Pb/^{238}U3 组年龄值比较一致,且均分布在一致曲线附近,它们的^{206}Pb/^{207}Pb 年龄在 ±10 Ma 内相当时,可以简单地采取各组分的^{206}Pb/^{207}Pb 模式年龄的平均值。②当一组样品的^{207}Pb/^{204}Pb —^{206}Pb/^{204}Pb 年龄作图线性关系很好时,应直接选取铅 —铅等时年龄。③根据不一致线与一致线的上、下交点确定年龄值。如数据在不一致线上较均匀分布、相关性好时,上、下交点年龄在误差范围内应同时具有意义;当数据集中于上交点(或下交点)附近时,只有上交点(或下交点)年龄有意义;通过零点附近的不一致线,下交点的年龄一般没有地质意义。④放射成因铅较低的锆石或其它副矿物样品(^{206}Pb/^{204}Pb < 500)应采用三阶段模式回归计算普通铅扣除量和年龄(朱炳泉,1975)。

U - Pb 法的测定对象主要是含铀矿物,如锆石、榍石、金红石、独居石、褐帘石、磷灰石和锐钛矿等。其中,常用矿物为锆石。然而,锆石在岩石中的含量较少,每千克样品中仅含有 1～5 粒锆石。由于分选的困难将使锆石 U - Pb 法难以推广。同时,锆石群很少是单一成因的。研究发现,在某些锆石群中,继承锆石与岩浆锆石、热液锆石一样,均是以单个透明的自形晶出现的,除定年外很难区分;而且一些锆石的内部微观结构十分复杂,有的锆石是由内部具环带的核和外部透明的、无环带的变质重结晶生长边组成的,如胶东地区的一些锆石就具有这样的特征,内部为继承锆石,外围为岩浆锆石(Bostock 等,1994;罗镇宽等,1997)。任一岩石中的锆石均存在化学成分和同位素的不均一性,即便具有简单热历史的锆石也具有这类现象;锆石晶体表面的铀含量成百倍地高于中心部位,在一个晶粒的不同部位,U 和 Pb 的含量是不同的,形成了单颗粒锆石的年龄梯度。上述问题不仅为利用锆石 U - Pb 法定年带来了困难,同时也为锆石 U - Pb 定年法指明了发展方向。

U - Pb 法本身有多种测定方法,包括微量矿物法、颗粒矿物 U - Pb 化学法、Pb - Pb 蒸发法和高精度离子探针方法。各种方法均有其优点和缺点。目前,U - Pb 法的发展趋势是向微区分析技术发展。而单颗粒锆石定年技术的推出(Lancelot,1976),以及酸浸蚀实验、提高磁化体系强度、空气磨蚀技术的发展与高净化实验流程的建立(Krogh,1973,1982),无疑是 U - Pb 定年法向微区分析技术迈出的关键一步。这一突破修正了世界上许多重要的年龄数据,如西格陵兰靠近格特霍布地区阿米索克片麻岩的年龄从 3630 Ma 修正到 3822 Ma(Kinny,1986)、乌克兰地盾超镁铁质包体锆石年龄为 3633 Ma 和 3640 Ma(Bibikova,1990)和我国发现早于 3600 Ma 的早太古代岩石(Liu 等,1990)。单颗粒矿物 U - Pb 法的优点在于:①样品用量少,可以分开不同年龄的矿物颗粒;②使用空气磨损技术去除锆石表层放射性铅丢失部分,使测点更接近一致线,从而提高年龄的测定精度和可靠性(Krogh,1982;孙大中,1990)。然而,与其它 U - Pb 定年法相似的是,该方法亦可能由于所测定的锆石颗粒遭受了不同地质事件的改造,而给出错误的年龄信息。为了获得可靠的年龄数据,必须对矿物微区进行原位测定,即必须借助于高精度离子探针技术,部分学者在这方面进行了尝试(Compston 等,1982,1986;Froude 等,1983;Williams 等,1984;Kober 等,1989;Mass 等,1991)。而新开发的澳大利亚 SHRIMP RG 离子探针和法国 CAMECA 公司的 ims 1270 二次离子探针均能直接进行矿物原位(in situs)微区分析,精度可达 10 μm 数量级,可以区分相差 10 Ma 的地质事件,从而使高精度锆石 U - Pb 年龄的获得成为可能。

3 Rb - Sr 法评述

70 年代以来,铷 —锶法得到了迅速发展,铷 —

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

锶等时线方法已经成为地质年代学中最重要的方法之一。Faure (1976) 对铷—锶全岩等时线和矿物内部等时线年龄的意义和相互关系进行了详细论述。随着铷—锶年龄资料的积累和铷—锶同位素体系研究的深入,一些学者对铷—锶等时线定年的理论和基本前提提出了疑问,并进行了方法的讨论(覃振蔚,1987;张玉泉等,1989;李献华等,1990)。本文拟以花岗岩和变质岩为例,探讨铷—锶等时线定年法的适用性和局限性。

对花岗岩的铷—锶定年,除必须满足同位素定年的理论和一般前提外,还必须满足:①所测定的样品必须是同源的,即样品的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 比值相同。由于测试精度的限制,对大多数花岗岩而言,所分析的一组样品的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 比值如果能在 $n \times 10^{-4}$ 数量级上一致,就可以认为满足"初始锶均一"的等时线条件。由此类样品的实验数据回归获得的等时线,可以得出真实的年龄(图 1a)。然而,地壳的同位素组成是极不均一的,由地壳岩石重熔产生的花岗岩将或多或少地继承这一特点,从而产生花岗岩 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 的不均一性。如果所有样品的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 比值在一个"平均值"范围内随机变化,与 Rb/Sr 值无关,在铷—锶等时线图上表现出 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 值沿坐标轴的水平"带状"分布,则可以获得一条有一定误差但接近花岗岩形成年龄的铷—锶等时线年龄(图 1b)。如果样品的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 比值与 Rb/Sr 值有关,则会构成一条"假等时线",不能反映正确的花岗岩形成年龄(图 1c、d)。②岩浆结晶作用时间短,所有样品均具有接近的年龄。MaCarthy 等(1980)认为,如果岩浆结晶时间短,Rb/Sr 值变化范围适中,则有助于铷—锶等时线的构筑,并能提高等时线斜率与年龄计算的精度;如果结晶时间长,Rb/Sr 值变化过大,则放射成因的 ^{87}Sr 积累将快速增加,导致早期和晚期结晶固相的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 值发生较大变化,并和 Rb/Sr 值呈明显的正相关关系,从而使铷—锶等时线定年前提不能满足。③一组样品具有适当变化范围的 $^{87}Rb/^{86}Sr$ 值(或 Rb/Sr 值),以便构筑一条等时线,获得可靠的等时线斜率。由于上述前提条件的限制,可以认为由结晶分异—同化混染、混合成因形成的岩浆岩样品不适合于铷—锶等时线方法测定。

由于铷、锶化学性质的差异,使得它们在变质作用过程中的表现也各不相同。在进变质或退变质时,锶可以在 1 cm 的小范围内进行再分配;退变质加剪切作用时,锶活动范围可以扩大到几十米。铷则更为活动,可以在露头范围内发生迁移;在麻粒岩相变质条件下,铷会大量丢失,K/Rb 值可达 1000～4000,而退变质时铷又会增加。因此,对任何类型的变质岩,如果在其形成过程中或形成后的地质历史中,有流体的加入使铷、锶发生变化,这些岩石均不适宜于用铷—锶等时线法进行年龄测定。受强烈的后期地壳改造作用的影响,我国关于变质岩的铷—锶等时线定年法成功率不高。至今尚未获得过 3500～3800 Ma 的铷—锶等时年龄,2500 Ma 以上的结果也不多,所获年龄多集中在 2300 Ma、2100 Ma、1800 Ma 左右的三组年龄值范围内(伍勤生,1985;高励,1985),反映的是后期构造热事件的叠加时间。因此,利用铷—锶等时线法确定变质岩的年龄时应谨慎,在地质上要选择那些受后期热扰动事件改造少的中级以上变质岩和深成岩,才有希望获得满意的结果。

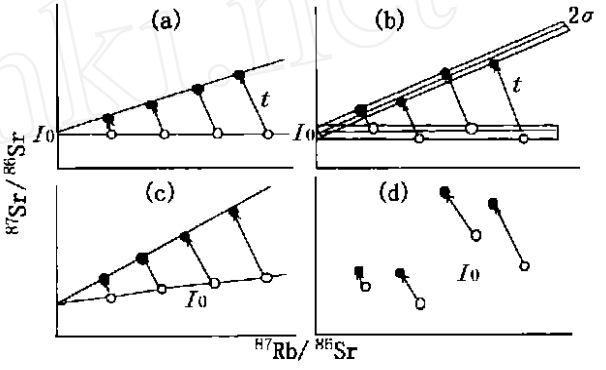

图 1　花岗岩 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值与 $^{87}Rb/^{86}Sr$ 值的几种相关关系及其对等时线年龄的影响

(引自朱炳泉等,1998)

(a)均一的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值,t 代表真实年龄;(b) $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值有较小的变化范围(平均 $I_{Sr} \pm 2\sigma$);(c) $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值与 $^{87}Rb/^{86}Sr$ 值呈正相关关系,等时线年龄偏高,初始值偏低;(d) $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值变化范围较大,与 $^{87}Rb/^{86}Sr$ 值无相关关系

4　Sm - Nd 法评述

Sm、Nd 同属稀土元素,具有相似的地球化学性质。它们主要富集在榍石、磷灰石、褐帘石、锆石、石榴子石、角闪石和辉石等矿物中。在多数情况下,稀土元素的化学性质是不活泼的,特别是 Sm/Nd 比值不易发生改变,钕的热扩散系数比锶低一个数量级。这使得 Sm - Nd 同位素体系可以保持良好的封闭状态,从而可以获得古老岩石的成岩年龄(Hamilton 等,1972;Ha milton 等,1979;John 等,1984;Othman 等,1984;McCulloch 等,1984;McCulloch 等,1987;Depaolo 等,1991;乔广生等,1987;胡雄健,1991;杨杰东等,1993)。自 Depaolo 等(1976)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

提出 Sm - Nd 模式年龄以来,Sm - Nd 同位素年代学研究已经取得了较大进展,已不仅仅局限于古老岩石的定年。高精度的单矿物 Sm - Nd 同位素分析和矿物内部等时线方法已经将 Sm - Nd 法开拓到显生代花岗岩形成年龄、中生代基性 - 超基性岩形成年龄和矿脉年龄的测定(李曙光等,1989;李志昌等,1987;李献华等,1990)。

Sm - Nd 法的优点在于 Sm、Nd 均为相对稳定的元素,适宜于对铁镁质岩石定年。然而由于这两个元素在矿物/玄武岩浆中的分配系数较低,甚至低到可以忽略不计,因而在同一地幔源衍生的部分熔融体中,或在由连续分异作用而形成的派生岩浆中(同源),即使经过一段长时 间的分馏,也不能使 Sm/Nd 比值产生重要的不同。岩石中 Sm、Nd 含量低和 Sm - Nd 同位素体系变化范围小,必然影响等时线的回归及回归精度。这正是 Sm - Nd 定年法的缺点。

与其它等时线法一样,用 Sm - Nd 定年法测试的样品必须具有同源性、同时性和不受后期事件的干扰等 3 个基本条件。但在实际的应用过程中,由于同类岩石 Sm/Nd 比值变化较小,而使等时线无法拉开,因此常常将不同岩性的岩石组合在一起。如在高级变质岩区将基性麻粒岩与中、酸性麻粒岩,或者麻粒岩相与角闪岩相岩石组合在一起;在绿岩带与蛇绿岩套中进行科马提岩和玄武岩的组合,以及其他长英质、基性、超基性岩的组合。如此就会带来一个问题。如果超基性岩和基性岩石分别来自亏损源和富集源,由于这些来源不同的岩石具有不同的初始比值,其在原始等时线图上就已经存在一个初始斜率,即已经存在一个年龄值,则必然导致后来生长的同位素年龄偏老。同样。如果岩石组合中有强亏损的岩石,由于其 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 增长快,也会使所得年龄偏大。由于从地质上和地球化学上均难以正确地回答这种岩石组合能否保证它们的同源性和同时性,因此,目前许多 Sm - Nd 等时年龄的地质意义可能是不明确的,甚至是值得怀疑的(Claoue - Long 等,1988;江博明,1989;Wilson 等,1989;Gruau 等,1990)。以张宣地区的 Sm - Nd 等时线年龄为例,张宣地区的 Sm - Nd 等时线样品明显地可以分成两组,即中性麻粒岩组和基性麻粒岩组,分别构成等时线的两个端元。两组一起回归计算的等时年龄为(2868 ±110) Ma,如果以中性麻粒岩单独回归,给出的年龄为 1.55 Ga(涂湘林,1990)。因此,混合等时线的年龄是值得慎重考虑的。

此外,岩石遭受后期改造作用时稀土元素是否具有活动性的问题,已经引起地质学家的重视(Hamilton 等,1978;)。变质作用过程中,新矿物组合的形成以及变质流体的迁移确实对 Sm - Nd 同位素体系存在某种潜在的扰动作用。以石榴子石为例,由于石榴子石具有很高的 Sm/Nd 比值(接近或大于 1),在深变质作用过程中形成此类新矿物必然会使 Sm - Nd 同位素体系产生强烈的分异。此外,随着流体/矿物分配系数的改变,不同矿物中的 Sm/Nd 比值和钕同位素的组成也有可能发生改变。在 5 kbar 和 1200 ℃条件下,Sm 在富 CO_2 硅酸盐熔体中的分配系数比富 H_2O 硅酸盐熔体中高 1000 倍(Wendlandt 等,1979)。因此,在野外取样时,应尽量采取不受或少受后期改造作用影响的样品。

此外,Sm - Nd 同位素体系还在地球演化、大陆生长和化学地球动力学等研究方面发挥着不可替代的作用(Depaolo 等,1981,1988)。

5 讨 论

通过上述测年方法的评述可以看出,由于元素的活动性、同位素封闭温度、后期构造 —热事件以及方法本身的精度等因素的影响,各种测年结果的正确性是不一致的。在测定或选用一个地质年龄时,必须注意如下几个方面。

首先,必须注意样品的采集工作。在采集样品之前,应尽可能地了解研究区内的地层、构造、岩浆活动、变质作用和成矿作用等,严格按照测试目的和要求选样和采样。采样时,一定要注意样品的同源性和同时性,切忌采集混合样。在选取单矿物进行年龄测试时,要根据矿物的封闭温度,选取合适的矿物;一定要将原生矿物和次生矿物分开,避免获得没有意义的混合年龄。

其次,任何一种方法都不是万能的,各有自己的适用性和局限性。国际著名的同位素地球化学家 Wasserburg 曾说过,没有哪种方法不好,应该清楚哪种材料适用哪种方法。我们在进行同位素年龄测定工作前,应根据地质事件及各种方法的适用性和局限性,选择合适的测试方法,以便更准确地测定地质年龄。

第三,不同的地质测年方法各有优点和缺点。对各种测年方法如何扬长避短,配合使用,特别是结合地质条件进行研究应是地质年代学研究的基本任务之一。为了避免单一方法的局限性,并在阐明复杂的地质事件时取得最满意的结果,最佳的选择是

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

使用多种地质定年方法相互结合,相互验证。利用多元同位素体系综合测年是地质年代学应大力推广的研究方向。同时,地质年龄的解释必须与地质事实相结合;只有地质与测试的紧密结合或配合,才能取得正确的结果与结论。

此外,有关同位素年龄数据的统计学工作迄今尚未完整的进行,对于全球范围或全国范围的某种同位素年龄数据的分布及其意义的研究,尚未有人涉足;有关同位素年龄的数据库尚未建立。从总体上看,有关同位素年代学和方法学的研究虽在如火如荼地进行,但大量的工作还有待开展。随着测试技术的不断更新、地质年代学与计算机技术的日益结合,地质年代学的研究必将展开新的一页。

本文引用了大量前人的文献,因篇幅的限制,不能一一列出;在写作和修改过程中,得到王鸿祯院士、张世红教授的指导,谨此致谢。

[参考文献]

[1] Dalrymple GB and Lanphere M A. ^{40}Ar - ^{39}Ar technigue of K/Ar dati ng : A comparison with the conventional[J] . Earth and Planetary Science Lette rs , 1971 , 12 : 300～308.

[2] 李献华,桂训唐. 花岗岩的定年方法学初论[J]. 地球化学, 1990 ,(4) :303～311.

[3] 戴潼谟,李正华,洪阿实,等. 长石类矿物^{40}Ar/ ^{39}Ar 坪年龄谱图及地质意义研 究[J]. 地球化学,1991 ,(4) :313～320.

[4] 朱炳泉. 地球科学中同位素体系理论与应用[M]. 北京:科学出版社,1998 ,1～312.

[5] 戴潼谟,洪阿实. ^{40}Ar/ ^{39}Ar 计时及西藏南部喜马拉雅期几个黑云母 年龄的测定[J]. 地球化学,1982 ,(1) :48～55.

[6] 陆松年,李惠民,李怀坤,等. 成矿过程多元同位素体系的时代信息[J]. 地质找 矿论丛,1995 ,10(3) :14～23.

[7] 陆松年. 大陆地壳演化时间维的确定及存在问题[J]. 新疆地质,1995 ,(1) :1 3～19.

[8] 朱炳泉. U - Pb 同位素体系的三阶段模式研究[J]. 地球化学,1975 ,(2) :123～134.

[9] 罗镇宽,关　康,苗来成,等. 胶东招掖地区与金矿化有关的花岗岩类继承锆石年龄 及其意义[J]. 地球学报,1997 ,18 (增刊) :138～141.

[10] Kober B. Single - zircon evaporation combined with Pb + emitter bedding for ^{206}Pb/ ^{207}Pb age investigations using thermal ion mass spectrometry a nd implication to zirconology[J] . Contrib. Mineral. Petrol. , 1987 , 96 , 63 ～71.

[11] 孙大中. 前寒武纪地质年代学问题的探讨[J]. 中国区域地质,1990 ,(4) :289～300.

[12] 江博明. 太古代岩石的定年 —方法学和局限性的讨论[J]. 地球化学,1989 ,103～116.

[13] 王义文. 金矿床定年方法进展及研究现状[J]. 地质与勘探, 1997 ,33(2) :24～29.

[14] 沈远超,杨金中,刘铁兵,等. 新疆东昆仑祁漫塔格地区上三叠统火山岩的年代及构造环境研究[J]. 地质与勘探,2000 ,36 (3) :32～35.

STUDY ON DATING METHODS OF ISOTOPIC CHRONOLOGY

ZHAO Yu - ling[1] , YANG Jin - zhong[1,2] , SHEN Yuan - chao[2]

(1. *China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center , Beijing* 100083;

2. *Institute of Geology and Geophysics , Chinese Academy of Science , Beijing* 100029)

Abstract : There are some problems for dating of geological events in isotopic chronology like sample choosing , dating methods and man factors. This paper discusses the suitability and limitations of the K - Ar , U - Pb , Rb - Sr and Sm - Nd methods , and points out some ways to date the geological events actually.

Key words : isotopic chronology , dating method , suitability and limitations

《中国工程地质五十年》介绍

本书系由中国地质学会工程地质专业委员会策划、选编而成的。反映了中国工程地质学 50 年发展历程的历史性文献和学术成果。其中有创业开拓的艰难历程和奋斗精神;有理论联系实际的实践过程以及取得的经验和成果;有结合中国地域特色而形成的有中国特色的理论体系。同时,对中国工程地质学未来发展方向作出了展望。此书对工程地质学、水文地质学、岩土工程学、环境科学、自然科学史等学科以及对水利、铁路、矿山、城市等工程建设都有理论和实践的指导作用。本书由地震出版社出版(ISBN 7 - 5028 - 1829 - 4/ P ·1059) ,每本定价 28 元,邮购每本另加收包装费和邮费 10 元,合计每本 38 元。需要者可来函编辑部。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net