

月岩的氧同位素数据系利用该仪器进行测试。关键是重视测试技术，提高水平，以高度责任心进行测试工作。西德Hoefs的实验室中只有MAT—CH₄仪器，但是仍然进行了大量碳氧同位素的测试，精度达到要求。

3.地质取样、样品转化和质谱分析三者合一 国外对稳定同位素地球化学工作者的要求是既能进行地质工作，又能进行实验室测试工作。二者结合能得到高质量的工作成果，这点是不言而喻的。结合我国情况，至少在培养干部方面应力争做到这点；而且在目前的工作中要力争互相配合，取长补短，提高工作水平。

本文内容均系作者本人浅见，限于接触面窄，局限性大，尚有片面和错误的地方，希望批评指正。

同位素地质年代学与同位素演化 研究进展与展望

朱炳泉

(中国科学院地球化学研究所)

在过去的十年中，同位素地质与同位素地质年代学在理论上、技术上和地质应用上都是处在一个迅速发展的时期。七十年代初国际性的月球样品研究活动促进了同位素地质年代学在技术上的全面发展，出现了高精度同位素质谱分析技术、超净化实验室和电子计算机的广泛应用，从而使一些新方法、新理论的实施成为可能。与此同时，国际上组织了地球动力学计划等合作研究，使这些新技术纷纷转向地球科学研究，从而使同位素演化研究在地质应用的深度和广度上都有了重大突破。我国同位素地质学研究虽然近年来逐步引进了各项新技术，在结合生产和理论研究方面也作出了一些创造性的成果，但总体上说，仍然要比国际先进水平落后十年以上。因此认真地分析与研究国外的发展动向与经验是十分必要的。这里将简要介绍十年来，特别是五年来国际上的研究进展情况和动向。

概括地说，在研究动向和方法论上有以下几个重要特点：

1.力争获得高精度、高准度的实验数据 同位素研究要求具有比其他任何地球化学研究更高的实验数据测定精度。要获得高精度，高准度的数据必要有优良的实验室条件和严格的科学态度。如实验必须在超净化实验室中进行，样品的前处理要保证没有污染，

对每项试剂和流程本底要反复检查。Rb、Sr、Sm、Nd、Pb等有关元素在各项试剂中本底应达到 10^{-14} 克/克，全流程本底应达到 10^{-12} 克/克。质谱分析的精度要达到十万分之几，要反复地测定标准样。对影响各项质谱分析准确度和精度的因素要充分考虑，如必须小心校正质量歧视、同位素分馏效应和干扰峰的影响等等。

2. 在选择课题上采用点、面相结合的方法 对一些重要的地质点和重要样品，工作要做得很细，反复地做。只有有了深入的点的工作，才能查明地质演化过程的机制，建立理论模式。如国际上对夏威夷火山，冰岛地区、西格陵兰、意大利火山、阿连德陨石等点的工作就做得很深入，许多重要的新发现、新规律的认识就是从这些点上得来的。但是选题也不可忽视大面积撒网，甚至全球性取样的面上粗线条工作。这些课题往往选择样品不多，但恰能发现一些重要的宏观规律。如Sr、Nd同位素反相关的规律就是靠这种方法发现的。

3. 采用多种同位素和微量元素示踪相结合的方法 同位素衰变体系在地质过程中具有双重特征，即它的计时特征和示踪特征。它们分别反映了地质过程的时空关系。由于各种衰变体系的母、子体具有不同的地球化学行为，因此各种同位素体系对各种地质过程反映的敏感程度也是不一样的。微量元素研究能为同位素研究提供旁证和新的地质过程制约关系。特别是微量元素分配理论的应用已成为同位素数据解释的重要基础理论之一。因此只有采用多种同位素与微量元素示踪方法才能制约地质演化过程在时间上和空间上的唯一性。

4. 在数据地质解释上的数学模式化 可以这样说，同位素地球化学目前已进入了一个新的理论发展时期。六十年代末到七十年代初主要是技术变革时期，而七十年代末到八十年代初则进入了理论发展时期。如果对定量的数据只作定性的归纳分类解释，那末地质科学仍然摆脱不了描述性阶段。只有对定量的数据进行定量的模式分析，才能认识本质。我国目前还只是刚刚开始技术变革时期，重点应放在技术改造上，但也必须充分注意这个理论发展的潮流。

下面将简述一下同位素地质年代学各领域发展的主要成就和研究动向：

1. K—Ar年龄与稀有气体研究 K—Ar年龄测定技术七十年代的一个重要进展是 Ar^{40}/Ar^{39} 方法的建立。七十年代后期这种方法已在研究地球样品上得到了广泛的应用。 Ar^{40}/Ar^{39} 方法对于测定受晚期热事件、蚀变作用、冲击和动力变质影响的岩石的年龄具有很大优越性。同时 Ar^{40}/Ar^{39} 方法也是研究矿物中过剩Ar的存在、确定Ar的封闭温度的一个重要手段，因此它可以揭开地质体的热历史。

七十年代前稀有气体研究主要是探索陨石中稀有气体同位素异常。这些年来已大规模转向地球物质研究。地球物质稀有气体研究中，两个重要的发现是值得注意的：一个是在许多地方发现了地幔物质的 He^3 异常。因此 He^3/He^4 成了检测原始地幔的重要手段。它比其他同位素更为可靠。但是装配He同位素分析质谱计所化代价较高。目前世界上还只有七台合格的自制He同位素质谱计。另一个重要发现是 Xe^{129} 异常的发现。但到目前为止只在夏威夷火山岩包体和美国新墨西哥一个气井中检测到这种异常。 $I^{129}-Xe^{129}$ 方法是研究太阳系早期历史的重要手段。因此这一发现对于揭开地球形成初期一亿年左

右的历史将是十分重要的。

2. Nd同位素研究和Sm—Nd法的建立 七十年代后期Nd同位素分析方法的建立和发展之快是任何其他方法所不能相比的。这主要是由于以下几个因素：(1) Sm—Nd法是一个比U—Pb、Rb—Sr法更优越的测定古老岩石年龄的工具；(2) 由于稀土元素特有的地球化学行为，如Nd同位素变化与其他同位素有反消长关系，地表过程不影响Sm/Nd比，水中的Nd含量极低使蚀变过程不影响岩石Nd同位素组成等等，因此Nd同位素示踪方法是研究地壳上地幔演化的重要手段；(3) Nb同位素是研究核子合成过程的重要对象，因为Nb¹⁴⁸、Nd¹⁵⁰是纯S过程的产物，Nd¹⁴²是纯r过程的产物，其他同位素是混合产物，这样的同位素谱在其他元素中是少见的。由于所有岩石的Nd¹⁴³/Nd¹⁴⁴变化范围只在5%之内，所以要求具有极高的同位素分析精度和超净化的条件。到目前为止世界上已有10个以上较高水平的实验室能进行Nd同位素分析。预计这种高水平实验室今后几年内将要成倍的增加。目前Nd同位素研究存在的问题是标准样和同位素分馏校正值的统一问题。

3. U—Pb法和Pb同位素研究 由于锆石封闭熔样方法的建立，使U—Pb法锆石年龄测定在七十年代获得新的生命力。实践证明对于测定古老岩石年龄U—Pb法比Rb—Sr法更好些。近年来U—Pb法在测定构造带岩石，如蛇绿岩、兰闪石片岩，绿岩系等年龄方面获得了成功。许多动力变质矿物如兰闪石、硬柱石、多硅白云母等具有良好的U—Pb封闭体系，而Rb—Sr体系在动力变质带往往受到很大的扰动，不能形成等时线。

铅同位素演化方面各种模式的探讨都涉及对地球年龄和 μ 值演化的问题。由于新衰变常数的采用，使应用铅同位素计算地球年龄产生了危机。目前尽管提出了不少计算地球年龄的新模式，但仍然不够满意。由于对海洋玄武岩铅同位素组成的研究和对太古代后层状方铅矿铅同位素组成的重新考查，证实存在着一条低 μ 值幔型铅生长线($\mu=7.8$)

关于U同位素异常问题，前几年曾有不少作者报道了陨石和地球物质中存在明显的U同位素异常，这就对U—Pb年龄的可靠性产生了疑问。但是近来G.J. 瓦塞尔堡格(Wasserburg)的实验室对各种物质的U同位素组成进行了更精细的测定，新的结果表明U同位素并不存在异常。

4. U系年代学及其他沉降核素研究 U系年代学这几年取得的重要成果之一是在火山岩研究方面的应用。用U系法测定火山岩的年龄，特别是安山岩的年龄获得了良好的结果。同时，Th²³⁰/Th²³²与U²³⁴/U²³⁸和Pb、Sr、Nd同位素一样已成为探索近代火山岩物质来源的重要示踪手段，Th²³⁰/Th²³²直接提供了岩浆源区现代U/Th比的信息，而Pb同位素只能反映历史上U/Th比变化。

自七十年代初Pb²¹⁰方法建立后，这些年来它也是发展特别迅速的一个分支，在许多研究部门都建立了这方面的实验室。这主要是Pb²¹⁰在研究近代海洋沉积、环境污染方面的广泛应用。另外在应用C¹⁴、Ar³⁹、氡、氦在研究海洋动力学方面也取得了显著的成绩。

5. Lu—Hf法与K—Ca法 由于超净化实验室和高精度质谱分析技术的建立，Lu—Hf与K—Ca这两种方法的应用将要被提到日程上来。近来在法国、美国和加拿

大的一些实验室已应用这些方法测定了年龄数据。Lu—Hf 法的主要测定对象是副矿物。由于锆石的 Lu—Hf 比极低, 因此它可像方铅矿一样提供 Hf 同位素的初始值。而榍石、褐帘石等恰具有很高的 Lu/Hf 比, 因此应用于定年是理想的。

由于地幔物质与地壳物质的 K/Ca 比有很大的差异, 地幔物质 K/Ca 比小于 0.01, 而地壳岩石矿物可达 3—100, 因此钙同位素在地幔中几乎没有变异, 而地壳中具有万分之六以上的变异。因而 Ca 同位素变异将是示踪岩浆地壳起源的好方法。

鉴于这两种方法的特点, 在不久的将来将会成为研究地壳与花岗岩演化的重要手段。

6. 冷却年龄与封闭温度的理论 封闭温度与冷却年龄的概念和理论是指不同的衰变体系所记录的不同矿物的年龄, 与地质的热历史密切相关。这个理论是 M. H. 多德逊和 D. 约克在 60 年代初扩散理论的基础上发展起来的。五年来这一概念和理论已被越来越多的人所接受, 并在研究地质体的冷却史, 岩体形成时的埋藏深度与隆起速度、古地磁极的迁移史等方面得到广泛的应用。

7. 关于太阳系外来物质引起的同位素异常的探索 七十年代陨石同位素研究方面最突出的成就是这种同位素异常的发现。这种异常不包括太阳系形成以后核过程和同位素分馏引起的异常。自从在阿连德陨石包体中发现了 Mg、O 同位素异常是太阳系星云凝聚时从邻近超新星爆炸带入的物质以后, 近年来的工作又发现了 Ca、Sr、Ba、Nd、Sm、Ti、Te、Ag 等元素的同位素异常。具有高单位核子结合能的 Fe 峰元素如 Ni^{64} 、 Fe^{58} 、 Cr^{54} 、 Zn^{66} 等将是继续探索的对象。这些研究的主要对象还仍然集中于阿连德陨石。只有在研究大量的不同元素的同位素异常, 才能查明产生异常的精确机制和模式。

8. 地壳与上地幔演化研究 近年来同位素地球化学研究方面最主要最突出的成就应该说地壳与上地幔演化的研究。几年来通过大量火山岩与超镁铁包体的 Pb、Sr、Nd、O 等同位素与微量元素研究证明了地幔在化学组成上存在着广泛的区域不均一性和层状不均一性, 并提出了亏损地幔、富集地幔与原始地幔的概念。如洋中脊玄武岩具有最低的 Sr 同位素和最高的 Nd 同位素组成, 表明来自亏损的源区, 岛弧与大陆边缘则是富集的源区, 海岛玄武岩来自接近原始地幔的源区, 近来的工作也证明大陆内部玄武岩也具有 Nd、Sr 同位素的亏损特征。应该指出, 近年来亏损地幔的概念也同样受到了冲击, 这主要有以下几个事实: (1) 中洋脊与海岛玄武岩的铅同位素表明源区的 U 相对于 Pb、Th 是富集的, 说明元古代后已由亏损地幔转化为富集地幔, (2) Sm—Nd 等时线现象也表明由亏损地幔转化为富集地幔, (3) 地幔交代作用和同位素不平衡现象的发现, 目前已观察到地幔包体的一些交代矿物透辉石、金云母等有极高的 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ (达 0.712) 和异常低的 ΣNd (达 -13.4), (4) O、Sr、Nd 与微量元素研究表明极大部分火山岩同位素组成变化并不是岩浆上升过程中地壳同化混染所引起的, 而是反映了源区的富集特征。根据上述事实, 不少人提出上地幔应该普遍存在着一个富集层的观点, 它可能是交代地幔层或者是一层普遍存在的残留俯冲洋壳。极大部分的火山作用都来自这个富集层, 或者是富集层与更下面的亏损层的混染。近年来关于地幔组成与结构的争论观点, 如不均一地幔、同位素不平衡交代地幔、残留地壳层等等并不是相互矛盾的,

而是相辅相成，各自反映了问题的不同侧面；残留地壳提供了地幔交代作用流的物质来源，交代作用产生了同位素不平衡，同位素不平衡又是地幔区域不均性的前提。

关于地壳演化研究，主要有两个方面；第一是关于太古代地壳演化的研究。近年来的Rb—Sr，U—Pb和Sm—Nd年代学工作发现了世界各大陆都几乎存在着大于30亿年的古老地壳，随着Sm—Nd法的发展，太古代老地壳年代学研究目前还在更深地进行。关于太古代地壳演化一个争论的焦点是关于英云闪长质地壳和绿岩带生成的先后问题，因为这关系到早期地壳演化机制和构造运动形式问题。近来的年代学工作表明英云闪长质地壳要比绿岩带先形成。绿岩带不能和现代地壳演化的岛弧俯冲带相比，而具有断块之间的裂谷性质。因此太古代可能不存在现代形式的板块水平运动，而以垂直运动为主。同位素研究还表明大陆地壳主要是在25亿年前形成的。

另一项有意义的地壳演化研究工作是关于近代地壳物质源区的示踪。这些工作做得比较细的地区是美国西部加利福尼亚、内华达岩基，以及日本岛弧等地区。Pb、Sr、Nd同位素示踪表明美国西部岩基存在着两个界面，划分成三个带。内带花岗岩来源于古老地盾的麻粒岩下地壳，表现出Sr同位素的明显下降，Nd同位素近于中带。中带物质来源于古生代冒地槽沉积的重熔，表现Sr同位素增高，Nd同位素下降。海岸带具有低的Sr同位素和高的Nd同位素，说明是俯冲带部分熔融的产物。

随着同位素研究工作的深入，近年来一系列的地壳上地幔演化模式已被同位素地球化学家所提出。总之，这些模式主要考虑的因素是壳、幔再循环、地幔对流、部分熔融、结晶分异和岩浆同化混染作用。模式研究是对当前同位素研究工作的高度理论概括。

由于涉及的领域很广，限于水平，以上只是很粗浅的，有些地方可能有错误或值得商榷。

非火焰原子吸收光谱法的进展

郭小伟

(西北冶金地质研究所)

随着研究工作的深入，地球化学工作者要求分析人员能够提供地质样品中多种微量元素的信息。非火焰原子吸收光谱法，作为原子吸收光谱法的重要一翼，可以满足这方面的一些要求。