

综合评述

我国同位素地质学研究的现状和展望
——第四届全国同位素地质年代学、
同位素地球化学学术讨论会印象Present State and Prospects of Isotope Geology in China
—Impressions Obtained at the 4th Nationwide
Symposium on Isotope Geochronology and
Isotope Geochemistry Held in Hangzhou

丁悌平 Ding Tiping

(中国地质科学院矿床地质研究所)

1989年11月30日至12月4日第四届全国同位素地质年代学、同位素地球化学学术讨论会在杭州召开。参加会议代表近300人,大会和分组会上宣读学术论文240篇,还组织了几次专题讨论和座谈会。会议为我们了解国内同位素地质研究的现状和发展趋势提供了良好的机会。从讨论会情况表明,我国的同位素地质工作近年来有了较大的发展。现有同位素地质实验室已达60多个,工作人员超过600人,拥有先进质谱计达50多台,建立了十多个超净实验室和上百个同位素制样装置。运用已有的实验条件,我国在同位素测试方法、基本理论和地质应用方面均取得了明显进展。

一、同位素测试方法发展现状

近年来,国际上对同位素测试方法的研究进展显著,主要表现在新仪器的研制和应用、新测量方法的建立、旧有方法的改进与完善以及同位素标样的建立与配套等方面。这些进展在国内也有不同程度的反映。

(一) 新测试仪器的研制和应用:

1. 目前同位素研究的主要仪器仍然是同位素质谱计。在国际上,同位素质谱计的研制仍是两雄争霸的局面,即美国Finningan和英国V. G公司垄断着世界上同位素质谱计的制造和市场。现有的MAT-251, MAT-261, VG354, MM1200, MM5400, Sira24等商品仪器均是这两家公司的产品。最近,Finningan公司又准备推出MAT-252和MAT-262等新产品。

在这方面我国仍处于落后的状况。“六五”期间,我国进口了大批国外新型仪器,并加强了对这些仪器的维修服务工作,但对仪器的研制和生产则几乎停顿。“七五”以来,我们购买仪器的速度大大减缓。这种状况如不改变,过一段时间,将出现仪器短缺的现象。

2. 近年来,国际上同位素测量仪器研究的一大进展是加速器质谱的应用。加速器质谱有极高的灵敏度,它应用于同位素测量使得毫克级样品的 ^{14}C 年龄测定及 ^{10}Be 、 ^{26}Al 、 ^{36}Cl 和 ^{81}Kr 等宇宙成因核类的研究成为可能。因此,这种仪器已成为同位素测量的一种重要新手段。

国内早已重视这方面的工作。这次大会上就有人报道了在国外应用加速器质谱作 ^{10}Be 研究的成果。国家自然科学基金会王永法同志还专门介绍了国内外加速器质谱的研究进展。据说,在北京大学建立的加速器质谱将在1990年投入工作。

3. 国外在同位素测量仪器方面的另一重大进展是离子探针质谱在微区同位素测量中的应用。80年代初, 澳大利亚堪培拉大学就建成了SHRIMP离子探针质谱, 并成功地用于颗粒锆石年龄测定和硫化物硫同位素测定。用这台仪器, 已在澳大利亚发现了年龄为42亿年的锆石。在它研究沉积岩中硫化物时, 又发现相距仅100 μ m的生物黄铁矿和热液黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值相差达25%。我国有人在澳大利亚做过颗粒锆石的研究, 但迄今为止, 在国内还未开始研制离子探针质谱。

4. 国际上同位素测试仪器的第三个进展是共振电离质谱计在同位素测试方面的应用。这种仪器是美国橡树岭国家实验室在80年代初制成的。它的特点是用一定频率的激光束去激发特定元素的原子, 因而有很强的选择性。它灵敏度极高, 可以测量单个原子, 且不必进行预处理、分析速度快。但是它目前能达到的分析精度还在千分之几的水平, 有待进一步改进。我国清华大学工程物理系已组装了一台, 并成功地进行了方法试验。

根据以上情况可以看出, 我国在同位素测量仪器研究方面仍处于初级阶段。

(二) 新测试方法的建立 建立新方法, 扩大同位素研究对象是同位素测试方法研究的重要方面。

1. 国外在建立新方法方面进展显著。在Sm-Nd法、锆石U-Pb法普遍应用之后, 近年来在建立颗粒锆石逐层蒸发法上获得成功。在建立La-Ce、Lu-Hf和Re-Os等年代学方法方面也有明显进展。

由于加速器质谱的应用, 国外在 ^{14}C 分析方面得到较大进展, ^{10}Be 、 ^{36}Cl 、 ^{26}Al 和 ^{85}Kr 的分析方法也相继建立, 并得到推广。

在稳定同位素测量方法方面, 国外做得较多的是稀有气体同位素分析方法的改进。现在已能对各种稀有气体进行准确的同位素测量。在硼同位素测量方面, 1986年建立了 $\text{Cs}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 法, 将硼同位素分析精度由千分之几提高到2/万, 为硼同位素地质应用创造了良好的技术条件。在岩石氮同位素分析方面也有突出进展。

2. 国内在建立新方法方面也做了很多工作。继建立K-Ar、Rb-Sr、U-Pb等普通年代学方法之后, 国内近年来相继建立了铀系不平衡法、氡法、 ^{14}C 法、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法、锆石U-Pb法, 以及Sm-Nd法。这次会议上, 地质矿产部地质研究所又报导了他们引进颗粒锆石逐层蒸发法, 并成功地用于地质研究的情况, 引起了会议代表们的重视。

在建立 ^{10}Be 、La-Co、Re-Os、Lu-Hf方法方面, 国内有人正在进行研究。

在稳定同位素方法方面, 各种H、O、S、C同位素测量方法在国内已普及, 配套。氮同位素测量方法在土壤、肥料研究中已大量应用。近年来在建立稳定同位素新方法上取得的重要进展有两项: ①地质矿产部矿床地质研究所建立了硅同位素测量方法, 测量精度为 $<\pm 0.1\%$, 超过国外水平($\pm 0.15\sim\pm 0.3\%$), 该方法已成功地应用于地质研究; ②矿床地质研究所与地质研究所合作创立了用 $\text{Rb}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 在热电离质谱上用多接收测量硼同位素比值的新方法, 其测量精度为 $\pm 0.08\%$, 超过了国外的 $\text{Cs}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 法($\pm 0.15\%$), 速度也大大加快。同时, 盐湖所肖应凯也报道了他在美国工作时改进 $\text{Cs}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 法获得的成果。

在建立稀有气体同位素分析方法方面国内也有较大进展。现已能对He、Ne、Ar作日常的同位素分析。

上述情况表明, 我国在建立同位素测量新方法方面成绩显著, 对国际发展趋势跟得很紧, 且在某些方面有所突破。

(三) 改进常用方法, 扩大应用范围 对常用方法进行改进和扩大其应用范围也是同位素测试方法研究的重要方面, 国内外在这方面都做了大量工作。近年来的主要进展是利用流体包裹体进行年龄测定和示踪研究, 以及利用构造矿物和蚀变矿物进行同位素定年研究。

这次会议上有的报道了用Rb-Sr法和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法对流体包裹体进行定年研究的成果, 也有的报道了用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法研究构造矿物, 测定断层活动时代的工作。不少文章介绍了流体包裹体H、O、C同位素测量方法及其地质应用方面的研究情况, 还组织了专题讨论。另外, 在方法改进方面值得一提的是对 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法和Sm-Nd法的某些改进。

(四) 同位素标样的建立和配套 近年来, 国际上对同位素参考物质的研制和对比测量工作十分重视。目前, 已经确定的国际标样达数十种, 涉及年代学和稳定同位素研究方法的各方面。国内也进行了同位

素标准样品的研制工作。在大会上,北京大学、矿床地质研究所、宜昌地矿所报道了氢、氧、硫同位素标样和铷-锶年代学标样的研制结果,反映了我国标样工作的一个侧面。这些标样,有的已通过国家鉴定,成为国家标准物质,有的正待进行国家鉴定。个别标样还将提供国外实验室标定,争取成为国际标准物质。

二、同位素基本理论研究近况

同位素基本理论是同位素地质年代学和同位素地球化学研究的理论基础。这方面的研究包括:发现和确定各种放射性衰变形式,测定放射性衰变速度;研究各种天然核反应,探讨同位素生成的机制;研究各种同位素分馏的机制、方式、速度和过程及它们与各种物理、化学和生物条件的关系。

(一)国际上对同位素基本理论的研究一直很活跃,近年来又取得重要进展。在与年代学研究有关的方面,国际上近年来特别注意对La-Ce、Lu-Hf、Re-Os及铀系等衰变的理论研究和 ^{14}C 、 ^{10}Be 、 ^{26}Al 、 ^{36}Cl 及 ^{85}Kr 等宇宙成因核类形成机制和过程的研究。这些研究为发展相应的地质应用奠定了基础。

在稳定同位素方面,突出的进展是与质量无关的同位素效应的发现。长期来,人们认为各种物理、化学和生物作用引起的同位素分馏都是与同位素的质量密切相关的。但是近年来,Clayton、Thiemens等人相继发现与质量无关而与原子核对称性有关的同位素分馏。他们的发现,为同位素分馏机制研究开辟了一个新方向,在国际上引起很大震动。不久我们会看到在这方面的更大进展。

此外,对同位素交换的方式、途径和交换反应的动力学也进行了大量研究。在同位素分馏曲线的精确理论计算和实验校准方面也做了许多工作。

(二)以前国内在同位素基本理论方面的研究几乎为空白,但近几年开始做一些探索性的工作。这次大会上也报道了有关成果:在年代学方面,有人介绍了对 ^{238}U 自发裂变的衰变常数进行实验测定的结果。在稳定同位素方面,有人对氢氧同位素分解曲线进行实验标定。中科院地质所储雪菡介绍了他在国外研究分子内和分子间同位素交换动力学模式的成果,得到与会者重视。这些成果表明我国在同位素基本理论研究方面已迈出了可喜的第一步。

三、同位素地质应用研究状况

同位素地质应用的研究范围十分广泛,很难用短短的篇幅说得清楚。从时间上来说,研究的内容从行星和地球的形成开始到它们上面最新的活动。从空间上来说,研究的范围大可以到整个太阳系和地球的各圈层,小可以到矿物和分子。

1. 就国际上的情况来看,当前最引人注意的研究方向可以归纳为以下方面:①陨石、月岩及行星挥发分研究;②行星形成历史和过程研究;③地球早期历史研究;④地幔的特点和演化的研究;⑤界限地质事件的研究;⑥生命起源和演化的研究;⑦水圈、大气圈、生物圈及岩石圈表层的相互作用和关系;⑧地球自然环境的变化趋势和人类活动对气候及环境的影响;⑨金属矿床成矿作用的研究;⑩同位素水文学研究;⑪能源资源的研究;⑫海洋的研究。

2. 我国同位素地质研究近年来发展很快,下面分直接为国民经济服务的工作和有关基础地质研究的工作两方面加以说明:

(一)直接面向国民经济建设的工作:从大会上发言看,直接为国民经济建设服务的研究成果占有重要地位,其中有关金矿、多金属矿、铀矿等金属矿床的论文多达50篇。这些文章为研究各类金属矿床的成矿物质来源,成矿流体的来源及性质,矿床形成的物理、化学条件提供了大量有说服力的证据。其中一些文章还直接为找矿评价和靶区选择提出了建议。有关地下水资源和地热资源的研究工作有较大幅度的增加,一共收到论文18篇。对油、气、煤等能源矿产研究的文章有9篇。有关盐湖、卤水的研究论文有4篇。会上还宣读了研究环境地质的文章5篇,海洋的1篇,表明这些问题已开始引起重视。所有这些成果表明,我国同位素地质队伍在经济建设这个主战场,作出了自己的贡献。

(二) 近年来,我国在有关基础地质问题的同位素研究方面也取得了丰硕成果。会议上提交了100多篇对全国各地新老岩石和地层进行同位素年代学研究的论文。这些成果为解决各种地质、构造和成矿作用等问题提供了重要的年代依据。会上还发现了一批水平较高的用多元同位素体系研究地幔不均匀性,研究壳幔演化的论文,根据我国的实际情况对这些重大基本问题提出了认识。此外还组织了专题讨论。

在我国古老地壳演化历史研究方面也有明显进展。有的文章报道了我国北方研究早太古界岩石的情况,在南方,也有发现年龄超过28亿年的锆石的报道。另外,在我国广大地区发现17—19亿年的地壳活动,这可能是中元古代全球地壳增长事件的重要信息。这些成果对我国南北古陆对比有重要意义。

大会收到对花岗岩同位素研究的文章有18篇,会议上还对花岗岩的同位素体系组织了专题讨论。会上强调了对花岗岩的多元同位素综合研究,注意到花岗岩初始同位素不均一性和水岩交换反应对花岗岩的影响。有7篇关于火山岩,特别是玄武岩同位素研究的文章。它们对这些岩石的物质来源,形成历史和地球演化过程提出了许多看法。

对于界限事件和构造活动的研究在会上也有相当的反映。

以上情况表明,我国在同位素地质应用研究方面成就是巨大的、多方面的。同时应当指出,与国际水平相比,我们在同位素地质研究方面尚有一定差距。首先,我们的研究范围还比较狭窄。例如,这次会上就没有提交陨石、月岩和宇宙尘有关的论文;对海洋研究文章极少。对大气圈和生物圈研究也没有反映。说明我国对上述诸方面的研究工作是薄弱的。其次,在研究工作较多的领域,如壳幔演化、花岗岩、矿床和水文等方面,真正有创造性见解、针对性强、成果显著的研究成果仍为数不多。大量研究仍在套用国外模式,进行低水平的重复。这说明我们的总体水平还不够高,还处在较低级的模仿阶段。另外,我国对某些应用工作做得多,对基础工作做得少,对资源研究做得多,对环境研究做得少。这种情况也有待改变。

四、国际交流和人才培养方面的情况

1. 从会议反映的情况来看,我国的同位素地质研究发展较快,对国际研究动向跟得较紧,重要原因之一是国际交流开展较好。自我国实行对外开放以来,我国同位素地质界出国长期学习和工作的人数达到60多人,占总人数的1/10。这些人中,不少已成为各单位的研究骨干。

2. 近年来,国内对培养年青同位素地质工作者给予了重视,取得了明显效果。这次与会代表中,40岁以下的达110人,占正式代表总数的42%。如李献华和其他一些年青作者的研究成果达到了较高的水平,受到与会者的好评。

五、几点想法

1. 正确处理研究工作与测试服务的关系:不少代表反映,在一段时间里,对同位素地质研究与测试服务的关系处理的不够好。把同位素地质实验室当作单纯测试单位,片面强调测试工作量,而忽视了方法、基本理论和应用基础等方面的研究。结果造成了送样和数据解释上的盲目性,影响了研究的实际效果。

2. 重视同位素地质专业研究队伍的作用:同位素地质研究对解决一系列重大地质问题和国民经济问题中有不可忽视的作用,但同位素专业人员参加重大地质课题的却不多。为此,希望有关部门在安排课题时能适当考虑和重视。

3. 注意学科之间的合作和渗透,加强综合研究:现代科学研究中的重大课题往往都是综合性的。为此要加强同位素地质学与其他科学的合作和相互渗透,瞄准国际性的重大课题和开拓性的前缘课题,组织力量进行跨学科、跨部门、跨行业的联合攻关,以争取拿出一批在国际上有影响的成果。

4. 在当前紧缩开支,加紧整顿的情况下,对经费和设备的投入不宜太分散。要重点支持基础较好,工作成绩显著的研究实验室和关键性基础和应用研究课题。

5. 继续加强国际间的交流合作和人才培养工作。