



同位素地质学的现状和进展

刘宗英 陈绍明

同位素地质学(或称同位素地球化学)是研究各种化学元素同位素在自然界的分布和运移规律,进而认识地球物质运动、演化过程,解决地质问题的一门地球科学分支。根据它所依据的原理和研究对象的不同,同位素地质学可分为稳定同位素地球化学和同位素地质年代学两部分。近20多年来,特别是七十年代初以来,国际性月球样品的研究活动促进了同位素地质学在技术上的全面发展,出现了高精度的同位素质谱分析技术、超净化实验室,加之电子计算机的广泛应用,使同位素地质学在地质学中应用的深度和广度上都有了重大突破,并广泛地渗透到地球科学的各个分支之中。

已知现在美国、苏联、法国、英国、加拿大、西德、瑞士、澳大利亚、日本、南非、印度、巴西、阿根廷等30多个国家开展了同位素地质研究工作,其中美苏两国均始于二十世纪初。目前这两国各拥有60余个实验室和一大批国际知名学者,是开展同位素地质研究最强的两个国家。美国地质调查所丹佛中心的同位素地质分部,有固体源质谱计9台、

气体源质谱计5台,博士和硕士研究生人员60多人,是世界上规模最大的同位素地质实验室。其他国家大多是在五十年代末期以后陆续开展工作的。

自20届国际地质会议开始,每届都设有同位素地质学专题讨论;国际地科联还成立了“国际地质年代学委员会”,定期召开国际性专业学术会议,交流研究成果。下面简略介绍一下近十多年来国外同位素地质学的研究现状和进展。

在稳定同位素地球化学方面,研究的对象包括元素周期表中大部分稳定同位素,其中研究得比较深入的有 H^1/H^2 , He^3/He^4 , Li^6/Li^7 , Be^9/Be^{10} , C^{12}/C^{13} , N^{14}/N^{15} , O^{16}/O^{18} , Mg^{24}/Mg^{25} , Al^{26}/Al^{27} , Si^{28}/Si^{30} , S^{32}/S^{34} , K^{39}/K^{41} 等轻稳定同位素及与天然核反应有关的 Sr^{87}/Sr^{86} , Pb^{206}/Pb^{204} , Pb^{207}/Pb^{204} , Pb^{208}/Pb^{204} , Nd^{143}/Nd^{144} 和稀有气体的同位素组成,尤以H, C, N, O, S, Sr, Pb, Nd和稀有气体同位素研究得最多,应用也较广。其研究动向概括起来有:

1. 重视稳定同位素分馏机理

的研究。这是应用稳定同位素解决地质问题的基础。不少实验室对一些常见气体、溶液和造岩矿物的平衡分馏系数进行了反复测定和理论计算,取值愈来愈趋于统一和准确;对地质作用过程中的同位素交换速度和扩散速度,及其影响因素进行了研究,得出一些有意义的结论。著名的大本模式,是稳定同位素地质研究中划时代的贡献。大本(Ohmoto)根据热力学数据和同位素分馏系数定量地估计了成矿溶液的化学性质对热液矿物中S, C同位素组成的影响;指出在不同的氧逸度、温度、pH值、离子强度等物理化学条件下,热液矿物中S, C同位素组成呈现有规律的变化;联系矿物的共生组合等特征可以进一步弄清S, C同位素的原始组成,探索矿床的热液来源和演化途径;并据此对日本黑矿的成因作出了合理的解释。

2. 稳定同位素地质温度计已成为古气候、古温度、矿床形成温度研究的一个极其重要的手段。例如,根据共生矿物的氧同位素分馏,可以测定月岩结晶温度、普通球粒陨石的变质温度和地球上各类矿床的成岩成矿温

度；通过测定化石的方解石壳层之 O^{18} 含量，确定古海洋的温度；利用地热水中不同溶解组分的氧同位素分馏估算深部水温；根据二极钻孔中不同层位冰的氧同位素组成研究古气候等

3. 利用稳定同位素作为示踪原子来研究矿床的热液来源和演化途径。因为在矿化溶液中搬运各种离子的水是由H与O组成的，在矿化作用中大部分金属离子是以硫化物形式沉淀的，所以，研究矿床中H，O，S以及另一个重要载体元素C的同位素组成，对了解矿液来源、矿化的展布和矿物结晶时的物理化学条件，是很有用的。例如，根据H，O同位素组成可以区分大气水、海水和岩浆水以及它们的演化过程，根据S同位素组成可以了解硫源等。

4. 从六十年代开始，人们对各种成因的岩石矿物中的稳定同位素分布进行了大量研究，对解决岩石学中的许多重要问题起了关键性作用。例如，根据O，Sr，Nd同位素组成可以了解花岗岩质岩石的成因，并划分出S型和I型花岗岩质岩石；H，O同位素组成可以了解雨水和海水与火成岩之间相互反应的程度；C同位素研究证实了碳酸岩的火成成因；变质岩石的稳定同位素研究可以提供矿物来源、形成温度、矿物集合体的平衡或不平衡性质、变质液体的来源和流动方向、矿物间反应机理等有关资料；稳定同位素资料可以研究沉积环境、沉积物来源、沉积壳层的形成与再造、沉积矿床的成因等问题。

5. 在地壳与上地幔演化研究方面，近几年来，通过大量火山岩与超镁铁包裹体的Pb，Sr，Nd，O等同位素和微量元素同

位素研究，证明地壳化学组成上存在着广泛的区域不均一性和层状不均一性，并提出亏损地幔、富集地幔和原始地幔的概念。这是近年来国际同位素地球化学研究中最突出的成就。

在同位素地质年代学方面，总的趋势是向着高精度、高灵敏度、微区分析和多种方法综合研究的方向发展；其研究成果大略体现在以下几方面：

1. $Ar^{40}-Ar^{39}$ 法和Sm—Nd法被广泛重视并得到快速发展。 $Ar^{40}-Ar^{39}$ 法可以准确地测定受过扰动的样品的年龄，还可以研究样品的受热历史。它为探讨具有复杂经历的地质体的演化过程、海洋地壳和新构造运动提供了重要手段，也为直接测定硫化物等矿石矿物的成矿时代提供了可能性；Sm—Nd体系可以承受更高层次的变质作用而不受扰动。在多数情况下，它可以给出原岩的生成年龄，因而比U—Pb法和Rb—Sr法能更好地测定古老岩石年龄。由于这些特点，这两个方法近年来在国际上发展相当快。

2. U—Pb，Rb—Sr等经典方法的应用范围逐渐扩大，研究程度日益加深。由于锆石封闭熔样法的建立，使锆石U—Pb年龄测定技术获得了新的生命力。目前已有可能测定单个锆石，甚至单个锆石的外层和内核的U—Pb年龄。最近，澳大利亚的W. 康姆斯顿用离子探针在西澳密克萨拉西部古老砂岩中测得4粒锆石的U—Pb年龄是41~42亿年，被断定为迄今世界上最古老的岩石。这一重要发现，无疑将修改人们对大陆地壳演化史的某些认识。

最近几年Rb—Sr法在沉积岩年龄研究方面取得了较好的结

果。但大量实践表明，Rb—Sr法测定变质岩时只能得到变质年龄，而得不到原岩年龄。

3. 对一些新的年龄测定方法进行了有益的探索和试验。这些方法有Lu—Hf法，K—Ca法，Re—Os法，La—Ce法，电子自旋共振年龄测定法等。此外，裂变径迹法、铀系子体、 C^{14} 法等也都有较大的提高。

4. 在研究方法上有以下几个新特点：①更加重视对采样点地质情况的观察和样品的矿物学研究，以保证样品的可靠性和代表性；②力争获得高精度、高准度的实验数据；③采用多种计年方法并结合稳定同位素和微量元素进行综合研究，以求得到更可靠的信息；④普遍采用等时线法和各种数学模型对实验数据进行处理。

5. 地质年代学的研究成果已在地球科学的各个领域获得广泛应用。例如，同位素地质年表更趋准确和完善，为划分地质纪、代提供了定量时标；对前寒武纪各种变质岩系的年龄测定结果纠正了“变质愈深，时代愈老”的传统概念；同位素地质年代学与地磁工作配合，对查明各大陆板块运动的速度、海底扩张速度和方向起了重要作用；封闭温度和冷却年龄理论已在研究地质体的冷却史、岩体形成时的埋藏深度和隆起速度、古地磁极的迁移等方面得到了广泛应用；在地壳与上地幔演化、成矿时代划分、生物进化、大气演化、环境污染和天体物质的研究中，同位素地质年代学均发挥了重要的作用。

我国的同位素地质研究工作始于五十年代末期。目前全国有70多个单位建立了同位素地质实验室，拥有质谱计近百台，工作

人员近千名，其中工程师以上的科研人员约占1/3。他们开展了K—Ar, Rb—Sr, U—Pb, C¹⁴, Sm—Nd, 裂变径迹, 轴系子体等年龄测定方法和H, C, O, S, Pb, Sr, 稀有气体等稳定同位素方法。从队伍的规模来说,已超过了美国和苏联,二十多年来取得了不少成绩。1975, 1982年先后举办了两届全国性同位素地球化学学术会议,公开发表的研究成果有800余篇。因篇幅所限,本文主要谈谈与国际先进水平的差距。

1. 我国的实验室数目不少,但重复性工作多,研究内容狭窄,水平较低。例如,在稳定同位素领域,多数单位都在作S,而H, O的工作刚开始,Pb, Sr, C只有少量数据;在国际上N, Si, Mg, Al, He, B等元素的同位素已开展多年,在我国尚属空白。在应用方面,国外广泛采用多种元素同位素综合研究,并取得了显著效果;在我国只是近年才出现少数类似专题,多数尚停留在“单打一”状况。

2. 测试水平(精度、灵敏度、速度)与国际水平有较大差距。例如, S同位素的测量精度国内多在0.5~0.2%,称样量20~50毫克,而国际先进水平可达0.07%,称样量少至数十微克;

Pb同位素分析精度国内为1.0~0.3%,国际达0.1~0.01%,灵敏度国内为 10^{-7} ~ 10^{-8} 克,国际达 5×10^{-10} 克。国外仅需5~20微克锆石,甚至单个锆石颗粒就可完成U—Pb年龄测定,而国内至少需要称量200~300毫克。这样,国外只需采集不多的岩石大样就能按磁性、粒度分选出不同成因的锆石进行研究,采用各种图解模式得出岩石的形成年龄和演化历史,而我国因用样量太大,无法将不同成因的锆石区分开,测出的数据难以解释和应用。

3. 仪器陈旧,效能低。质谱计是同位素分析的主要仪器,国内60%以上的质谱计是五十年代初期的产品,性能差,效率低,亟需更新换代。

4. 工作人员素质差,基础理论研究薄弱。国外比较高级的研究人员不仅精通地质学,而且在物理学、化学、计算机等领域也有较深的造诣,每个人都能独立完成从样品采集、制备、质谱分析到数据处理的解释的全过程研究工作。我国绝大多数同位素地质专业人员是半路转行的,缺乏系统的专业训练,实验室内又分工过细,不熟悉工作的全过程;加之许多实验室忙于眼前的生产任务,无暇顾及基础理论的研究和业务的再提高。

5. 研究课题面窄,彼此缺乏有机配合。近年来国际上同位素地质研究往往与某项重大科学命题紧密联系在一起;研究成果常常为解决这类课题提供重要依据,同时又反过来促进了同位素地质学本身的发展。例如,对地球物质和陨石、月岩年龄的测定来探索宇宙的形成和发展历史;用古老岩石的发现来研究地壳早期历史和运动规律;用太平洋火山岛链年代学研究与板块构造的关系;研究H, C, O, S等同位素在自然界的演化规律等。

在矿床地质研究领域,不仅用几种计年方法或某种同位素数据来讨论某地区的地质问题,而是将多种同位素地质研究手段与微量元素分配、岩石学、矿物学等紧密结合起来研究成矿的地质条件和变化规律。在矿床同生说、层控理论、卤水成矿说、萨布哈成矿模式、雨水成矿、海水成矿、全球构造与成矿作用等矿床学理论的创建和发展过程中,同位素地质研究都发挥了重要作用。我国所开展的若干综合性研究,课题多偏重于当前遇到的一些局部性具体问题。我国的同位素地质研究工作要更上一层楼,必须在体制和课题的选择上来一个较大的变革才行。

(上接第11页)

期 龙角山岩体同位素年龄为118百万年,阮家湾岩体为72~100百万年,说明是燕山中晚期成矿。从地质条件分析,付家山和龙角山白钨矿床产于最新地层二迭系中,也表明成矿在古生代之后。

综上所述,从地质构造、岩浆活动和成矿特点

等方面分析,夕卡岩型白钨矿床也是大冶地洼区的一个特征矿产。展望远景,殷祖侵入体及其外围,银山断裂带的两侧,均有形成白钨矿床的条件,找矿潜力颇大。只要坚持实践第一的观点,不断总结经验,地质找矿工作就一定会开创出新的局面。