

全球幔源岩同位素体系剖析 及对地幔化学结构与地球动力学问题的再认识

朱炳泉

中国科学院 广州地球化学研究所, 广州 510640

随着全球数据库的建立与共享,“数字地球”正在实现,也使地球科学家可以从“地球系统科学”的观念出发重新认识全球许多观察事实的相互联系。由于全球数据库系统的共享,中国大陆同位素体系填图从陆地向边缘海发展到全球已成为可能。根据 GEOROC、RIDGEDB、MEDITERRANEAN 等数据库以及与美国数字化地质图相配套的数据库资料得到的 2002 年以前近 3 万个大陆与大洋溢流玄武岩(CFB 与 OFB)、岛弧火山岩(IAB)、洋岛玄武岩(OIB)、洋中脊玄武岩(MORB),以及古老基底基性麻粒岩的配套 Pb-Sr-Nd-Hf-He-Os 同位素、年代学和主微量元素资料,并结合 2002 年以后发表的相关资料,对以往建立起来的地幔端员、DUPAL 异常、层状地幔化学结构、地幔柱、岛弧与大陆边缘俯冲带等问题,以及地球化学急变事件的含义提出以下的问题和重新认识。

1 关于地幔“端员”

根据早期有限的同位素体系观察资料,曾提出了 EM1、EM2、PREMA、HIMU 等地幔端员组分。但大量的资料表明只有 PREMA 具有普遍意义,而 EM1、EM2 和 HIMU 只出现在极有限的区域,而且多元同位素体系拓扑结构表明 EM2 与 HIMU 并不构成单一的端员,而是不同地区有各自的演化趋向,独一无二。如在太平洋中南部地区相距不远的平行岛链出现了典型的 EM1(Pitcairn-Gambier) HIMU(Austral-Cook)和 EM2(Society, Samoan, Marquesas)。这些“端员”只与 PREMA 存在混合趋向,而相互之间不存在混合趋向。太平洋的 EM2 与印度洋的 EM2(Gough, Kerguelen, Tristan Da Cunha)不具有相同的同位素组成和演化趋向。太平洋的 HIMU 与大西洋的 HIMU(ST. Helena, Canary)

铅同位素组成均具有各自演化趋向,显示了它们源区存留时间的明显差别。太平洋的 EM1 与根据大陆上超钾质岩石确定的 EM1(包括美洲蒙大拿 Smoky Butte、Leucite Hill, 犹太 Robbers Roast 和中国五大连池)也有不同的铈-铅-钕同位素演化趋向。这些特殊的 OIB 常出现在大洋流玄武岩省的周边,如上述太平洋的 OIB 是 Ontong Java-Manihiki OFB 的组成部分。这个源区实际上代表了由具不均一化学组成和不等存留时间块体构成的层位,因此用简单的三个“端员”来描述它是不妥的。同位素体系证据表明这个层位不是大陆地壳和岩石圈地幔,而是位于软流圈上地幔以下,但又不具有下地幔的似原始至略亏损特征。将其视为上、下地幔之间的过渡带可能是恰当的。

2 DUPAL 异常

DUPAL 异常也称南半球异常和特提斯同位素信息。DUAP 异常虽是根据 MORB 同位素特征划分的区域性异常,但除上述特殊“端员”OIB 以外的其他大量 OIB 同位素组成变化也与相应 MORB 是同步变化的(即太平洋域吻合北半球参考线 NHRL 趋向,而印度洋域位于 NHRL 以上的平行趋向)。因此极大部分的 OIB 与同区域的 MORB 具同源性。大量的同位素证据表明 DUPAL 异常有以下明显边界:(1)位于南极与澳洲之间近于东经 126°E 的南北向边界(AAD);(2)位于太平洋与菲律宾洋之间小笠原-马利亚纳弧的南北向边界(BMD);(3)位于南大西洋近于南纬 20.5°S 的东西向边界;(4)位于地中海西部撒丁岛附近的南北向边界;(5)位于太平洋东南部目前位置尚不确切的东北向边界。因此 DUPAL 异常域应包括从东亚边缘海(菲律宾洋、南海、苏拉威西海和苏禄海)、印度洋、大西洋南部、地

基金项目:中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX2-SW-125)

中海中东部至太平洋东南部。它的陆域应包括冈瓦纳大陆以及位阿尔卑斯—中东—青藏—华南的古、新特提斯洋分布区,而大洋边界均连接-穿越各个大陆。DUPAL 域超过全球面积的一半,不能说是“异常”。上述五同位素地球化学边界除 BMD 有构造上的表现外,其余均没有构造上的明显标记。AAD 与 BMD 应是一条南北向的连续巨边界,只是它的中段由于 Ontong Java OFB 的溢流而被扰乱。因此 DUPAL 可能只代表了上地幔的分区。

3 地幔柱

地幔柱岩浆活动在地球化学上应表现为具似原始至略亏损的下地幔同位素证据。以 Morgan 为代表的许多学者将 OIB 看成是岩浆来自下地幔的地幔柱。但极大部分的 OIB 相似于 MORB,并不具有似原始至略亏损的下地幔同位素特征。因此 Anderson 为代表的不少学者否定地幔柱的假设。来自下地幔的岩浆经过渡带和上地幔,将会有这些地幔层物质的加入。因此与地幔柱有关的溢流玄武岩同位素组成不但具似原始地幔特征,也表现出过渡层的多“端员”同位素特征,铅同位素在零等时线两侧有近等权的分布;如 Ontong Java-Manihiki 和北大西洋省 OFB 以及哥伦比亚河、德干高原、西伯利亚与峨眉山等 CFB 均有这些特征,是地幔柱;而象夏威夷等许多 OIB 以及 Parana、Karoo、Ethiopian 与北极省等 CFB-OFB 不具有下地幔组分特征,不属地幔柱。因此对于 OIB 和 CFB-OFB 是否与地幔柱有关,应进一步用多元同位素体系来判别。

4 岛弧与大陆边缘的俯冲带

岛弧与大陆边缘火山作用是否与俯冲带相联系在地球物理上用贝尼霍夫带来判别。在地球化学上如果只用元素构造环境判别图是不可靠的,应根据火山岩同位素组成是否有两个块体组分混合的壳幔相互作用;在有俯冲带存在时,铅同位素变化表现为平缓的梯度变化,而急剧变化则应不是俯冲环境。全球有许多岛弧区有贝尼霍夫带,如阿留申弧、日本弧北段、汤加弧、苏门答腊弧、北美西海岸 Cascade 弧等。这些弧的火山岩中铅同位素组成也明显有着两侧块体组分的混合。除汤加弧外,有贝尼霍夫带的弧均标志着大洋板块向北俯冲。曾作为洋陆俯冲的典型弧——南北向的安第斯弧恰好没有贝尼霍夫带,火山岩铅同位素组成也不存在贫钍-铅的太平洋俯冲板片参与岩浆作用,因此有洋陆之间的铅同位素急变带。同时,安第斯弧火山岩铅同位素组成恰好表现出纬向的平缓变化,并可分出四个块体,似乎有着北向俯冲。作为西太平洋的重要南北向弧——小笠原-马利亚纳弧也没有贝尼霍夫带,地球化学则表现为 DUPAL 异常与太平洋 MORB 的铅同位素急变带。对这两个弧的形成方式有“近 90°高角度俯冲”和“近 0°平缓俯冲”两种极端假设。如果是平缓俯冲则会有更多的太平洋板块 MORB 组分参与火山作用,因此地球化学数据不支持这种假设。近垂直的俯冲在力学上也难以解释。太平洋洋中脊主要呈南北走向,东西向的海底扩张为什么未能产生板块俯冲?