试论华南中新生代地幔柱构造与铀成矿作用

李子颖* 黄志章 李秀珍 林锦荣
（核工业北京地质研究院，北京）

提 要：本文指出地幔柱构造作用是地质构造作用-火山岩浆活动-沉积变质作用-成矿作用体系的原动力；论述了华南中、新生代地幔柱构造的存在及其与华南铀矿化的关系。华南 4 大类型的铀矿化应是在统一的地幔柱构造作用和影响下的产物。地幔柱构造不仅为 U 的活化、迁移和富集提供热动力，而且还可能提供成矿物质来源，对进一步深入认识我国华南铀矿区域成矿规律，扩大老矿区，探索寻找成矿新区和新类型铀矿化具有积极的意义。

关键词：华南 地幔柱构造 铀成矿作用

1 引 言

地幔柱（mantle plume）构造最早源于 1963 年 Wilson 提出的热点（hotspots）理论[6]，后来研究者尽管从不同的角度提出化学柱、地幔热柱等相类似的概念，但总的说，地幔柱是指储藏巨大能量的热柱和化学成分与周围有明显差别的化学柱的综合。

地幔柱构造是地质构造作用-火山岩浆活动-沉积变质作用-成矿作用体系的原动力。当地幔柱构造接近地表时，由于热物质在地幔中的升力及浮力导致地壳隆起，其规模可达上千米。这种抬升又进一步导致地壳的伸展运动、地壳减薄、大陆裂谷事件、古陆解体、洋壳增生等。在地幔柱之上的大陆壳物质由于地幔热柱的向上运动，热传递导致局部融熔，形成大规模的玄武岩的溢出及岩浆侵入作用；同时，伴有区域变质、地壳重熔、构造变形等，甚至引起全球气候变化、大地水准面升降和生物灭绝等。据 1998 年美国《科学新闻》报道，在地幔底部同地核交界处存在厚度为 5～40 km 不等的“超低速带”（Ultralow viocity zone），这些地带呈半熔解高温状态，对应地壳表面多有火山岩浆分布，它们遥遥相对，例外非常少。地幔柱构造的形成和演化及动力学观点被称为是继大陆漂移和板块构造以后的第三次浪潮[4,5]。

地震波信息层析成像和模拟结果表明在华南以大约经度 115°和纬度 25°交汇处为中心，存在一个低速异常区。这说明在华南确实存在一地幔热柱（谢窦克，1996）。华南地幔热柱的深部作用与地表地质作用特征是相对应的，它决定了华南中新生代以来的基本地质构造格局。众所周知，华南自中生代以来，地质构造作用、岩浆活动、沉积变质作用和成矿作用进入一个相当强烈的活动时期。有关该区中生代以来的地质构造作用特征及演化在许多文献中已有详细论述，在此由于篇幅所限，不作讨论。笔者只想强调的是在白垩纪约 100×10^6 a，即燕山造山运动的主幕期间，地幔柱作用进一步加强，产生更高温度的岩浆作用，其活动规

* 李子颖，男，1964 年生，博士，高级工程师，中心副主任，从事区域成矿规律、矿床地质、地球化学研究。
邮政编码：100029

模和强度在前述基础上继续扩大，成分上受更大深度范围的部分熔融以及更高分馏的结晶分异作用所控制，成分以偏碱性、碱性为特点；拉张作用增强、区域上伴随各类岩脉的贯入、盆地沉积尤其是红盆建造继续发育，从而构成了南方特有的红盆现象，其中红色沉积建造则可能是由于地幔柱构造作用，大量的热量（火山岩浆作用）进入大气，导致气候改变、气温升高，加剧表生作用过程中的氧化作用所致。该时期也是铀成矿作用的重要时期，由于中新生代地幔柱构造的作用和影响，在华南也产生了各种各样的矿化作用，形成了如 W、Sn、Nb、Cu、Pb、Zn、Mo、Au、U 等矿化，从而使华南成为我国的多金属资源基地。

2 华南地幔柱构造与铀成矿作用的关系

正如前文所述，地幔柱构造是成矿作用体系的原动力。不同元素的成矿作用或同一元素的不同成矿特点都是在这种原动力的作用下的表现形式。归纳起来，地幔柱构造与成矿作用的关系主要有两个方面：① 提供能量，包括动力能和热能，是成矿作用元素分馏活化和迁移富集的前提条件；② 不同程度直接或间接提供了成矿物质来源。华南中新生代的铀成矿作用实际上也不例外，是地幔柱构造的一种作用产物。铀成矿作用本身表现是一个“相对独立”的事件（主要是指相对含矿主岩而言），但它同时又是区域地质构造作用体系中不可分割的一部分。

2.1 铀成矿作用事件

(1) 华南铀成矿作用时代在区域上具有明显的相近性：华南地区的铀矿化按含矿主岩所划分的四大类型，即花岗岩型、碳硅泥岩型、砂岩型和火山岩型铀矿，尽管类型不同，但其成矿年龄基本相近，矿化时代主要集中在 $90\times10^6\sim110\times10^6$ a（杜乐天，1982）。这说明它们在区域上与统一的地质构造作用背景有关。

(2) 矿岩时差大：成岩成矿时间不连续，成矿晚于成岩，最大时差达 1000×10^6 a 以上，最少也有数十百万年：成矿作用相对独立于成岩作用。

(3) 成因上的相似性：尽管华南铀矿化划分出 4 个不同类型，但它们在成因上都表现有不同程度的热液成矿特征，尤其是火山岩型和花岗岩型铀矿化。

(4) 铀矿床的几个成矿期（100×10^6 a，80×10^6 a，60×10^6 a 左右），与较晚期的、受地幔柱构造上升到浅部影响下的伸展动力机制的区域性地质构造活动时间基本一致，与区域性的不整合、岩脉贯入以及华南大规模的火山活动时间基本相吻合，在时空上与富含碱、不相容元素，分异程度较高的小岩体密切相关，这些均与地幔柱构造活动的脉动性相关。

(5) 华南地区的铀成矿作用与白垩纪—第三纪的红色建造盆地、火山盆地在时空上具有密切的伴生关系（陈祖伊，黄世杰，1996），其与地幔柱构造作用的成因联系在前文已作论述。

上述现象的存在和时代上的一致性并不是偶然的巧合，也就是说它们是在深部地幔柱构造统一影响作用下产生的。

2.2 地幔柱构造与铀的深源成矿作用

有关铀成矿作用的铀源一直存有争议，也是认识铀成矿作用规律的核心问题之一。在很长时期（或至今）有很多人认为铀矿化中的 U 直接或间接来自含矿主岩或其源岩，或两者

皆有。因此，富铀层（体）就很自然地成了寻找铀矿化的重要目标或评价标志。尽管不排除铀源来自这方面的可能性，但这并不能解释铀成矿作用中的很多现象，如矿脉（带）周围的U含量很多情况下不是降低了而是升高了，世界上不少富大铀矿床产出的主岩U含量并不高，如加拿大阿萨巴斯卡省的铀矿床。我国的花岗岩型铀矿化也并不是都产在U含量高的花岗岩中，相反U含量最高的花岗岩并没有铀矿化。现在看来有越来越多的证据表明U的成矿作用具有深源特点，只是在不同类型上表现程度不同而已。这种深源特点最深可追朔至地核-地幔交界区，与地幔柱构造作用影响的范围及相伴生的其他物理化学过程（对流、交代、熔融等）有关。有关这方面的论点还需进一步的研究工作证实。以下从几个方面对铀成矿作用的深源性加以探讨：

(1) 铀矿化在空间上与幔源基性岩脉紧密伴生，特别是与岩浆演化的中晚期偏碱性、碱性岩脉有密切关系。前面提到，这些岩脉与铀矿化的时代十分相近。这些岩脉一般富集不相容元素，与其所贯入的围岩（岩浆岩）的成因多数情况下是不同的，具有更深的物质来源。

(2) 华南铀矿化的4大类型皆受区域性切壳深大断裂控制。这些受断裂切割的部位是热对流，热点火山岩浆活动的有利场所，也为深部成矿流体的运移提供了很好的连通条件；但矿体的富集应该在连通性比较好的次一级构造。然而空间上并不是在深大断裂带处都可成矿，成矿应该是在断裂与热点或地幔柱的次一级构造幔枝构造的交汇部位。在时间上也并不是任何地质时代活动的断裂都可能成矿，而是在地幔柱构造强烈作用时期相应活动的构造才是有利成矿构造。这也就很容易解释断裂带不同部位有的有矿，有的无矿。矿化只产在特定时期的特定部位断裂带中。

(3) 铀矿化受岩性的控制并不明显，且一般说来，铀矿化的热液成因越明显，岩性的控制越弱，这特别表现在花岗岩型和火山岩型的铀矿化中。花岗岩型铀矿化母岩不仅有酸性的花岗岩，还有基性的辉绿岩、中酸性的花岗闪长岩以及外接触带的沉积变质岩类等；火山岩型铀矿化主岩既有酸性的也有中性的；碳硅泥岩型、砂岩型铀矿化虽然与一定的岩性有关，但富铀矿化皆与构造热事件相联系。由此可见，铀矿化的铀并不一定都来自含矿围岩，很多情况下，具有它源的特征。

(4) 与华南铀矿化时空上密切相关的脉状绿泥石、萤石实际上不应是一种蚀变交代作用的产物，野外产状及室内研究表明它们更象是一种外来充填产物。X-衍射结果证明与铀矿化相伴生的绿泥石主要是镁绿泥石。这在南方一些花岗岩类型铀矿化中的绿泥石尤其如此，富含绿泥石及绿泥石中的高Mg含量说明它们不太可能是来自花岗岩围岩，而应具有深源的特征。文献中很多研究结果也表明，萤石中的F具有深源来源特征。

(5) 对与铀矿化有关的蚀变场、蚀变分带的研究表明，它们是围绕着某个中心逐渐向外变化或分带的。这个中心一般位于构造薄弱地带，反映了热点活动中心及深源作用特点。

(6) 地球化学研究表明，华南铀矿化都不同程度地伴生富集有深源元素。如Cr、V、Ni等，这特别表现在热液作用明显的铀矿化类型中，这是岩浆热液分异演化和U及这些元素的不同相容性规律所不能解释的。显然成矿受深源作用的影响。

(7) 铀矿化常常与金矿化密切共生，U、Au等元素属密度较大的元素。在地球早期演化阶段，受重力和引力等影响，很多集中于地核之中。Au的丰度在地核中是900×10^{-9}，地幔是1×10^{-9}，地壳中是3×10^{-9}[1]；已有研究表明原生金矿中的Au有相当部分是通过

地幔柱构造的作用而来自地核[2]。有文献资料报道，地核中的U含量也是比较高的。在成矿区，U、Au经常密切共生；在石英脉中，U和Au呈正相关关系。

(8) 地球物理资料亦表明，华南重要的铀矿化区的铀矿化亦受深源作用的影响。以花岗岩型铀矿化为例，铀矿化区都是产在花岗岩区布格重力垂向二次导数负值异常相对比较小的地带，甚至正异常区，而非铀矿化花岗岩在布格重力垂向二次导数异常则要大得多，说明矿化区有高密度物质的贯入或被抬升，进一步印证了受深源地质构造作用的影响。这一点也可以说是一个良好的区域成矿远景评价标志。

铀的深源成矿性能比较好地解释华南典型热液成因铀矿化沥青铀矿的形成特征。沥青铀矿脉的形成不太可能经历一个氧化还原、U由$U^{6+}\rightarrow U^{4+}$的迁移富集过程。而更象是主要以四价F、Cl等络合物的形式由深部往上进行迁移。铀的沉积富集主要是上升成矿流体由于物理化学条件（压力、温度和成分）的改变所致。当然，这并不否认在一些复成因铀矿床中U来自含矿围岩或由表生淋积富集作用带来。有关U的深源来源及迁移形式等问题还有待进一步深入研究。

3 总 结

综前所述，华南中新生代铀矿化作用是受地幔柱构造作用直接或间接影响的产物，与华南区域地质构造作用、火山岩浆活动及沉积变质作用有着内在的有机联系。不同类型铀矿化是在这种统一的区域地质背景和动力条件影响下，在不同类岩石中迁移富集的结果。成矿流体途径的及最终赋存的围岩影响和决定着矿石的性质及其矿物共生组合。U可来自围岩近源，更主要的是具深源来源特征。从这点来讲，也就不难理解铀矿和其他金属矿种在这种大的背景范围内常常共存。从前面的讨论中也可很容易地得出结论即控制铀矿化作用的核心要素应是有利构造空间与热点活动的交汇区。以上认识和结论有助于进一步深入认识我国华南铀矿区域成矿规律，对扩大老区，探索寻找新区和新类型铀矿化、拓宽找矿思路具有积极意义。

http://www.kcdz.ac.cn/

参 考 文 献

1 刘英俊，马东升. 金的地球化学. 北京：科学出版社，1991.
2 牛树根等. 幔枝构造及其成矿规律. 北京：地质出版社，1996，124.
3 谢窦克等. 华南大陆地壳生长过程与地幔柱构造. 北京，地质出版社，1996，257.
4 王鸿祯，全球构造研究的简单回顾. 地学前缘，1995，2 (1)：37～42.
5 Maruyama S, Plume tectonics J. Geol Soc. Japan, 1994, 100 (1): 24～49.
6 Wilson J T. A possible origin of the Hawaiian Islands. Can. J. Phys., 1963, 41.