

## 初论地幔热柱与铀成矿的关系

赵军红, 胡瑞忠, 蒋国豪, 谢桂青

(中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002)

**摘要:** 中国东南部分布着大面积的中生代中酸性火山岩, 是我国重要的火山岩型铀矿产区。铀矿的分布主要受区域性的断裂构造所控制。对于本区的铀成矿机理前人进行了系统的研究, 本文将从地幔柱的角度进行探讨。在初步介绍了地幔柱的研究现状之后, 认为中国东南地幔热柱不仅是中酸性火山岩形成的热动力, 而且也是成矿矿化剂(CO<sub>2</sub>)的重要来源。它与太平洋—亚欧板块碰撞是统一的, 同时参与了地幔交代和岩石圈减薄。地幔柱的脉冲式运动可能是中国东南多次成矿的动力来源和矿化剂的提供者。

**关键词:** 地幔热柱; 中国东南部; 火山岩型铀矿

**中图分类号:** P54/619.14      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001—1552(2001)02—171—08

1963年, 加拿大地质学家 Wilson 从太平洋夏威夷—海皇火山岛链玄武岩喷出年龄与太平洋板块运动方向之间的对应关系, 提出热点构造理论。但直到二十世纪 70 年代初, 全球板块理论创始人之一的 Morgan(1971)才首次提出了热幔柱概念。发展到今天, 人们对热幔柱的认识已基本一致, 认为热幔柱产生于核幔边界附近的 D"层, 形状为喇叭型, 巨大的球状顶冠和狭窄的尾部, 热幔柱的上升能引起地壳上隆升展, 形成大规模溢流玄武岩, 同时伴有区域变质、地壳重熔。热幔柱上升所引起的这些特点与中国东南火山岩型铀矿产区极为相似。本文将从火山岩型铀矿成矿动力, 矿化剂来源及地幔热柱的地质作用来初步探讨地幔热柱与中国东南部火山岩型铀成矿的关系。

### 1 地幔热柱研究现状

自从六十年代提出地幔柱概念以来, 其研究方法和研究深度取得了很大的发展, 地质学家们从其物质组成、几何形状、运动方式、物理化学变化及地球化学特性等不同的角度阐述地幔柱的发生、发展。它的研究为地球深部作用与区域成矿浑然一体, 协调统一。而研究的最多的就

收稿日期: 2000—11—14; 改回日期: 2000—03—01

基金项目: 国家杰出青年基金项目资助(项目编号: 49925309)。

作者简介: 赵军红(1975—), 男, 甘肃天水人, 硕士, 地球化学专业。

是结合地球化学及物理方法来确定地幔柱的运动状态和物质成分改变问题。

### 1.1 地幔柱的运动

地幔柱在形成和上升过程中,不断与周围进行物质和能量交换,并产生不同的运动方式。地幔柱在地球内部的运动速度是非常缓慢的,由于受到各种因素的影响,地幔柱不断改变自身的运动状态,其最为主要的影响因素是密度、相边界、温度和粘度及岩石圈等。

通过对地幔柱穿越层状系统的实验研究发现,深部地幔由于密度的影响有两种运动方式:当地幔柱顶部密度( $\rho(p)(z)$ )小于上部盖层密度( $\rho(u)$ )时,表现为整个幔柱顶(Plume head)直接穿过边界,并对周围流体及自身影响不大。第二种情况是,当 $\rho(u) > \rho(p)(z)$ 时,地幔柱在通过两种流体界面时强烈扰动,使得幔柱物质保留在密度分界面,同时,从幔柱管道产生新的褶皱穿越上部层位。

地幔内部有两个重要的相边界,尖晶石—钙钛矿相界和尖晶石—橄榄石相界,它们对地幔柱的上升具有重大的影响。

在地球内部深度约 600 km 处,是上地幔与下地幔的分界面,即尖晶石—钙钛矿相边界,它是地幔物质对流的重大障碍。半径大于 100 km,温度在 100℃ 以上的地幔柱能很快穿过相边界,进入上地幔,而半径小于 100 km 时,它将整个滞留在下边界,即下地幔的顶部。对于没有穿过的地幔柱,将粘附在下地幔上部依粘度结构侧向扩散,对弱非穿越地幔柱,热辐射导致半径增大,并在第二阶段穿越,对强非穿越幔柱,能导致上地幔物质发生对流。

另一个界面是在约 400 km 深处,地幔柱与过渡带的反应,它在增加幔柱物质能量的同时,尖晶石—橄榄石的相转变引发幔柱物质在细长的坚直通道中朝面表喷射,这种地幔柱延伸受上地幔对流的控制。幔柱与幔柱的碰撞形成超级地幔柱,超级地幔柱与钙钛矿—尖晶石相过渡带的反应为新的地幔柱起动的提供场地。实际上,地幔柱的运动是各种因素综合作用的结果,运动状态和方式随着时间不断发生改变,是一个动态的过程。

### 1.2 地幔柱物质成份变化

地幔柱从核幔边界产生之后,在上升过程中不断与周围地幔物质发生交换,到达岩石圈后又要发生反应,与地幔柱的运动一样,严格的说,它的成份也是随时间不断发生变化的。其最为重要的成份改变有以下几个过程:

#### (1) 地幔热柱初始物质交换

地幔柱在形成与运动过程中和地幔物质的交换,理论上讲,应归因于热或机械相互作用,在地幔柱顶部上升过程中,运动的地幔使周围物质加热并且浮力加大,从而使物质带人(Entrained),在地幔柱顶部,带出高达 50% 的下地幔物质,实验和数字模拟也证实这种夹带作用对于强的温度相关粘度和长距离上升可能非常重要。

在地幔柱初始上升过程中,生长的幔柱顶能从下地幔深部带出物质,这些物质由于较热能对幔柱顶位的熔融贡献较大,并可能直达地表。

#### (2) 地幔柱与 SPB 反应

当地幔柱穿越受阻或边缘滞流,在尖晶石—钙钛矿相边界(SPB),侧向扩展的地幔柱进行热辐射,把物质从下地幔过渡区带到上地幔过渡区,由过热在上地幔所引发的次级地幔柱,其组成有 60% 的尖晶石—钙钛矿过渡带物质,其后由于温度和粘度,运动关系更为复杂。

#### (3) 地幔与岩石圈的反应

岩石圈物质的加入能改变地幔柱的物质组成及化学特征,洋壳的加入更加普遍,中国东南

火山岩铀矿产区可能就属于此种类型,其它如夏威夷地幔柱、英格兰 NUNATAK 地区、加勒比海火成岩省等等。同时岩石圈底部发生重熔,使得褶皱顶部产生混染。

## 2 中国东南火山岩型铀矿产区热幔柱的存在

对东部的地壳厚度,岩石圈厚度研究表明:断陷盆地分布区为地壳和岩石圈厚度减薄区,NNE 向断陷盆地严格地对应地幔的隆起,并且这种隆起趋势与盆地形成期的软流圈顶面相似(如图 1)。根据赵海玲的研究结果显示,该地幔上隆时的辉石温度线高于大洋地温线的上方,介于大洋地温线和上地幔固相线之间(如图 2),这说明,在中国东南地区在中新生代,在此构造背景下,以热地幔物质上涌为主要的深部作用呈“蘑菇云”状上升,也就是热幔柱的存在,与之相伴随的拉张/裂陷盆地的形成可能是热幔柱上升的结果,不同时期的地幔柱的不同运动方式存在着不同的岩石学纪录,从白垩纪到晚第三纪表现为玄武岩源区依次经历类似于 EM1→EM2→PREMA(略亏损的通用地幔)的变化,说明软流圈地幔柱的贡献增大,而陆下岩石圈地幔作用程度减弱。

## 3 火山岩型铀矿床与热幔柱构造

在我国,一些学者也开展了地幔柱与成矿的关系等各方面的研究,如邓晋福等(1992)用地幔热柱理论来研究中国北方大陆的岩石圈运动;李红阳等(1996)以冀西北金银多金属成矿区为例揭示了地幔热柱构造特征、探讨其构造地质作用,并建立了热幔柱构造壳幔成矿模式;方

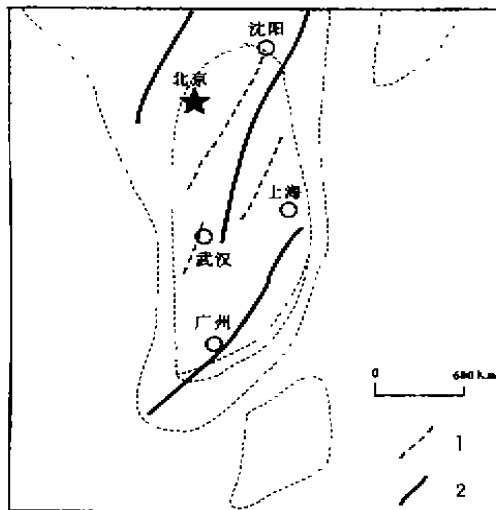


图 1 东亚地区新生代玄武岩分布与软流圈上隆轮廓图(据邓晋福等,1990)

Fig. 1 Sketch map of relationship between upwarping of asthenosphere and Cenozoic basalt in eastern Asia (after Deng Jingfu et al. 1990)

1—早第三纪火山岩带;2—晚第三纪—第四纪火山岩

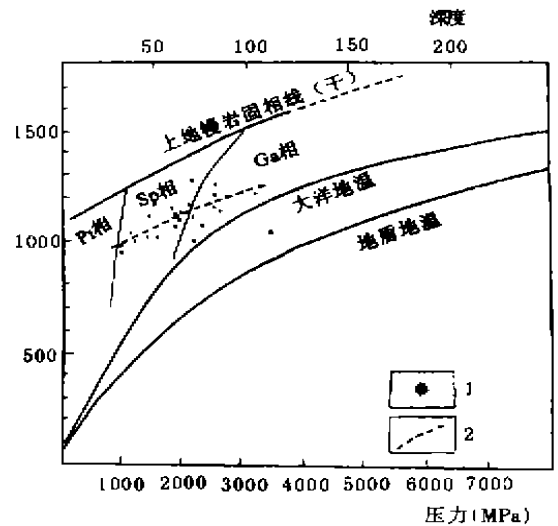


图 2 中国东南沿海地区上地幔岩包体形成温度、压力分布图(据赵海玲等,1990)

Fig. 2 Temperature-pressure for inclusions of the upper mantle from the southeastern coast of China (after Zhao Hailing et al. 1990)

1—本区上地幔岩包体投点;2—本区辉石地温线

维萱等(2000)认为陕西二台子铜金矿床受区域热幔柱控制;Ge W 等(2000)从中生代玄武岩地球化学特征来讨论壳—幔相互作用,提出大兴安岭地幔柱的形成与俯冲洋壳—亏损地幔相互作用的动力和地球化学过程有关;Li Z. X. 等(1999)认为 Rodinia 超级大陆的解体开始于约 820 Ma 前地幔热柱的初始抬升,从而支持中国在 Rodinia 超级大陆中位于澳大利亚和 Laurentia 之间。

产在中生代火山岩中的热液铀矿床是我国重要的工业矿床类型之一,除少数产出在新疆准噶尔古生代中酸性火山岩中外,大部分均产出在濒太平洋大陆边缘中生代火山岩中,尤其产出在濒太平洋火山岩带的外带。火山岩型铀矿的成矿物质及矿化剂来源都与热幔柱有关,同时还控制着中国东南总的构造格局和演化。

### 3.1 热幔柱是产生中酸性火山岩的动力

从中国东南部的火山岩型铀矿床来看,火山岩型铀矿与中生代中酸性火山活动和中酸性火山岩在空间和成因上具有密切的联系。可以说,控制了中酸性火山岩带的构造也就控制了火山岩型铀矿成矿带的构造。而形成中生代中酸性火山岩的动力就是热幔柱的上升,不论是时间上还是空间上都控制着它的形成和喷发。

(1) 时间上,热幔柱的抬升与中国东南火山岩年龄是对应的

中国东南部中生代火山岩的同位素地质年龄为 130 ~ 140 Ma, 锶同位素初始比  $Sr^{87}/Sr^{86} = 0.7089 \sim 0.7121$ , 明显高于地幔来源的火山岩, 根据 Nd 同位素研究显示, 中国东南部火山岩不同岩区其同位素特征不同, 但其差异性和变化规律完全可与中生代酸性火山岩基地中的同位素特征相比, 显示中国东南部中生代酸性火山岩继承了基地同位素特征, 同时, 中生代火山岩的钕同位素地壳保留年龄均远离其实际的侵位时间而与所在地的变质杂岩的 TCR 值(钕和钐组分在大陆地壳环境下保留的平均年龄)类似, 表明区内中酸性岩浆是由业已存在的地壳物质形成, 而地幔物质参与很少。通过岩石组合、岩石化学和地球化学综合研究表明, 中国东南部以酸性火山岩为主体的火山岩体不是地幔物质分异的产物, 而主要是硅铝壳中下部深熔作用的结果。

在中国东部不同时代的玄武岩岩石, 145 Ma 左右的玄武岩表现出与 165 Ma 和 125 Ma 左右的玄武岩碱度较低的特点。据 Sr-Nd 同位素研究表明: 125 Ma 的玄武岩基本具有亏损地幔的特点, 因此推论 145 Ma 可能是我国东部岩石圈减薄的转折期。这正好说明中国东南部火山岩的年龄与岩石圈地幔减薄, 即热地幔柱的上升具有藕合关系, 火山岩产生的热动力可能就是热幔柱上升提供。

(2) 空间上, 中国东南部中生代中酸性火山岩分布与热地幔柱上升对应

我国东南部的中生代中酸性火山岩除在形成具有时限性外( $J_3-K_1$ ), 同时在形成区域上也具有选择性。它们只产出于某些特定的大地构造环境中, 如中生代活动大陆边缘等地壳成熟度高, 硅铝壳厚度较大的大地构造单元, 即我国东部濒太平洋地区, 它在空间上正好是地幔热柱的上升区, 它们在空间上的这种对应关系并非偶合, 而是有必然性的。

### 3.2 热地幔柱是成矿矿化剂的物质来源

$CO_2$  是铀矿的重要的矿化剂, 我们通过对中国东南部火山岩型铀矿的碳同位素进行研究, 其结果如表 I 所示。

从表 I 可以看出, 中国东南部火山岩型铀矿的碳同位素组成具有如下一些特点:

(1) 不同的矿床具有大致相同的碳同位素组成, 其范围为  $(-2.287 \sim -8.55) \times 10^{-3}$ , 变化范围窄:

表 1 中国东南火山岩型铀矿碳同位素组成  
Table 1 Carbon isotopic compositions of volcanic-type uranium deposits in southeastern China

样号	采样地点	成矿时代 (Ma)	测定对象	$\delta^{13}\text{C}(\text{PDB}, \times 10^{-3})$
W—308	570 矿床	90	方解石	-4.915
W308B				-6.913
W—303				-3.915
W—3043				-3.314
W—257	430 矿床		方解石	-4.9
W—257				-2.297
	草桃背矿床	52	方解石	-2.287
H90C—1		54		-5.11
		50		
H90Z—1	相山矿田	120—100	方解石	-5.67
H90Z—2				-5.83
H90Z—3				-5.93
H90Z—5				-5.41
H90Z—6				-4.78
H90Z—8				-7.70
H90S—1				-3.27
H90S—2				-3.77
H90S—4				-3.76
H90S—7				-3.53
H90S—9				-4.98
H90S—11				-4.97
H90S—13				-5.39
H90B—2				-4.23
H90B—3				-4.22
H90B—4	-4.48			
H90B—5	-4.57			

570 矿床和 430 矿床的  $\delta^{13}\text{C}$  均引自卢长武等(1990)。

(2) 成矿热液的碳同位素值与火山岩型铀矿所处的大地构造单元位置和成矿时代无关, 处于不同单元和不同成矿时代的火山岩型铀矿床碳同位素组成表现为统一的值域。

通过比较发现, 碳同位素组成范围与沉积碳酸盐 ( $\delta^{13}\text{C} = 0 \times 10^{-3}$ ) 和有机碳 ( $\delta^{13}\text{C} = (-10 \sim -35) \times 10^{-3}$ ) 的碳同位素组成相差较大, 而中酸性岩浆又没有提供  $\text{CO}_2$  的能力, 故由地幔或幔源基性岩浆提供  $\text{CO}_2$  就成为可能。事实证明, 地幔或幔源岩浆确实有提供  $\text{CO}_2$  的能力, 并且中国东南部铀成矿与地壳拉张具有同步性, 从而更进一步证明了成矿矿化剂由热地幔柱提供的可能。

## 4 热地幔柱地质作用

### 4.1 热地幔柱与板块碰撞

陈肇博等认为我国东南部中生代大面积的火山岩是古太平洋板块对亚欧板块的碰撞所致, 中生代, 特别是侏罗纪以来, 由于古太平洋板块对亚欧大陆东部的快速和缓倾角的俯冲, 毕尼奥夫带附近产生强大的地幔热流, 流体和一部分地幔物质的上升导致亚洲大陆东南硅铝壳中下部广泛重熔, 生成流纹质的酸性岩浆。根据九山茂德的研究, 这种俯冲深度应为 670 km 深度, 是由冷的地幔羽引发热的地幔羽, 即俯冲板块的残核下落到下部地幔时, 为了补偿其下降部分, 必然从下部地幔向着上部地幔产生地幔羽的上升, 从全局来看, 滞留板块的下落和地幔羽的上升必然是成对的现象。

从以上的分析我们可以看出, 古太平洋板块与亚欧板块之碰撞作用和地幔羽上升是统一

的,二者是因和果的关系,应该说中国东南部火山岩的形成实质是地幔羽上升热流。

#### 4.2 地幔热柱与交代作用

我国东部地幔长期以来处于亏损状态,在中国东南地壳拉张期上侵的基性岩浆源来自富集型地幔。对中国东南部新生代碱性玄武岩中流体组分  $\text{CO}_2$  的  $\delta^{13}\text{C}$  研究显示其值与岛弧玄武岩的  $\delta^{13}\text{C}$  值一致,而与洋中脊、洋岛玄武岩(OIB)相差较大。在粤北白垩纪基性岩脉中,Zr、Hf 亏损,微量元素地球化学特征表明其具有明显的 EM II 特征。这些表明在基性岩脉形成之前曾经历了富  $\text{CO}_2$  流体的地幔交代作用。对这一形成机制有不同的看法,Weaver *et al* 认为是板块俯冲将深海沉积物带入地幔并与洋岛玄武岩(OIB)的源区成分混合而成;Palacz *et al* 认为是岩石圈底部的拆沉作用进入软流圈形成,Hary 则强调它形成于核幔边界的原始地幔。结合目前中国东部地区各方面的资料,认为中国新生代的玄武岩无论北方或南方,其源区均产生过地幔富集作用,其方式为板块俯冲沉积物带入地幔,它释放出来的流体对上地幔楔进行富  $\text{CO}_2$  流体交代作用的结果,其更为深部过程是俯冲洋壳在核幔边界引发地幔热柱,因此其物质组成应该是洋壳与地幔物质的混合,在上升过程中,又不断发生演化,到达岩石圈底部强大的地幔热流使之重熔,诱发本区大规模中酸性岩浆喷发活动。发生这次交代作用的流体相以  $(\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O})$  占统治地位,此后的地壳拉张使这种富  $\text{CO}_2$  流体沿断裂运移,从而形成火山岩型铀矿床,杜乐天(1988)认为这是漫汁的碱交代作用携带矿质到低压区成矿,实际上,也是地幔热柱从下到上不断富集  $\text{CO}_2$  和碱金属,即漫汁演化,至浅部流体沿断裂上升成矿的过程。

#### 4.3 热地幔柱与岩石圈减薄

我国东部的岩石圈减薄主要发生在中生代,岩石圈的减薄多与岩浆作用密切相关,其机制是随着热地幔柱的上升,导致浅部圈层(上地壳、下地壳)发生大规模交代—重熔作用,形成混合交代重熔岩浆,诱发本区多期次大规模中酸性岩浆活动及部分基性玄武岩喷发,岩浆活动势必必要消耗岩石圈,一方面导致中国东部岩石圈的减薄,另一方面为铀成矿提供源岩。

其后的裂陷拉张使基性岩浆沿深大断裂上涌,为铀成矿提供成矿矿化剂,这正好是地幔深处物质上涌—拉张—裂陷的结果。

#### 4.4 热地幔柱与多期次铀成矿

中国东南在中新生代经历多次地壳拉张已成为不可争议的事实,根据李献华(1997)的研究结果,华南白垩纪构造应力场以拉张为主。中国东南白垩纪—第三纪的地壳拉张分期进行,具强烈拉张性质的构造运动有  $K_1$  的中威尔登期运动(105~90 Ma)、 $K_2$  的上赛诺期运动和 E 的始新世期运动(75~40 Ma)[1993,胡瑞忠]。根据已有的研究表明,我国不同类型的铀矿床其三个主成矿期是相同的,分别距今  $87 \text{ Ma} \pm$ 、 $67 \text{ Ma} \pm$  和  $48 \text{ Ma} \pm$ ,与地壳拉张的多期性相对应。持续如此长时间,且分阶段,大规模的岩浆活动及地壳拉张的动力是什么呢?通过对地幔柱的运动方式和物质成分的研究发现,地幔柱的脉冲式运动是导致中国东南多次地壳拉张、岩浆活动的动力和矿化剂的物质源泉。

## 5 中国东南部火山岩型铀矿与其深部过程

通过以上的探讨,我们初步得出以下的结论:

- (1) 中国东南部火山岩型铀矿床产区明显有上地幔上隆,即地幔柱的存在。
- (2) 火山岩型铀成矿受地幔热柱的制约,它的上升导致岩石圈重熔,形成铀矿母岩、地壳

的拉张沟通了地幔,从而为成矿提供矿化剂。

(3) 热幔柱与板块碰撞,岩石圈减薄是统一的,在深层次控制着铀成矿。

(4) 地幔柱的脉冲式运动是多期次铀成矿的动力和矿化剂源泉。

#### 参考文献:

- 1972 Morgan W J. Plate motions and deep mantle convection[J]. *Geol Soc Am Mem*, 132: 7—22.
- 1982 陈肇博, 谢佑新, 万国良. 华东南中生代火山岩中的铀矿床[J]. *地质学报*, 3: 235—242.
- 1984 Hart S R. A large scale isotope anomaly in the southern hemisphere mantle[J]. *Nature*, 309: 753—757.
- 1986 Ohmoto H. Stable isotope geochemistry of ore deposits, In: Valley J W *et al.* (eds), *Stable isotopes in high temperature geological processes*[J]. *Rev Mineral*. 16: 491—556.
- 1986 Palacz Z N, Saunders A D. Coupled trace element and isotope enrichment in the Coo - Austral - Samoa island, southwest Pacific[J]. *Earth and Plan Sci Lett*, 79: 270—280.
- 1986 Griffith R W. Thermals in extremely viscous fluids, including the effects of temperature - dependent viscosity[J]. *J. Fluid Mech*, 166: 115—138.
- 1986 Weaver B L, Wood D A, Tarney J *et al.* Role of subducted sediment in the genesis of oceanic island basalts: Geochemical evidence from South Atlantic Ocean islands[J]. *Geology*, 14: 275—278.
- 1988 杜乐天. 幔汁—HACONS 流体[J]. *大地构造与成矿学*, 12(1): 87—94.
- 1989 Richards M A, Griffiths R W. Thermal entrainment by deflected mantle plumes[J]. *Nature*, 342: 900—902.
- 1989 杜乐天. 幔汁(ACOHNS)流体的重大意义[J]. *大地构造与成矿学*, 13(1): 91—99.
- 1990 曹荣龙, 朱寿华. 浙西堯地幔岩包裹体中流体及熔体包裹体的成因和意义[M]. *中国上地幔特征与动力学论文集*, 地震出版社.
- 1990 邓晋福, 赵海玲. 中国东部新生代上部软流圈性质及变迁历史[M]. *中国上地幔特征与动力学论文集*, 地震出版社.
- 1990 胡瑞忠, 金景福. 上升热液浸取成矿过程中铀的迁移沉淀机制探讨—以希望铀矿床为例[J]. *地质论评*, 36(4): 317—325.
- 1990 卢武长. 福建 570 铀矿床的同位素地质特征[J]. *成都地质学院学报*, 17(1): 85—93.
- 1990 赵海玲, 邓晋福. 中国东南沿海地区上地幔深部作用特征[J]. *中国上地幔特征与动力学论文集*, 北京: 地震出版社.
- 1992 邓晋福, 赵海玲, 吴宗繁, 等. 中国北方大陆下的地幔热柱与岩石圈运动[J]. *现代地质*, 6(3): 267—273.
- 1993 胡瑞忠. 华南花岗岩型铀矿成矿热液中(CO<sub>2</sub>来源研究[J]. *中国科学(B辑)*, 23(2): 189—196.
- 1994 九山茂德, 深尾良夫, 大林政行. 地幔羽构造论—板块构造后理论发展的新范例(金旭译)[J]. *世界地质*, 13(1): 35—42.
- 1994 赵国春, 吴福元. 热幔柱构造——一种新的大地构造理论[J]. *世界地质*, 13(1): 25—34.
- 1994 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 中国东部岩石圈根/去根作用与大陆活化[J]. *现代地质*, 8(3): 349—356.
- 1996 李红阳, 阎升好, 王金锁, 等. 初论地幔热柱与成矿—以冀西北金银多金属成矿区为例[J]. *矿床地质*, 15(3): 249—256.
- 1997 Kellogg L H, S. O. King. The effect of temperature-dependent viscosity on the structure of new plumes in the mantle—results of a finite element model in spherical axisymmetric shell[J]. *Earth and Plan Sci Lett*, 148(1—2): 13—26.
- 1997 Vankeken P. Evolution of starting mantle plumes—A comparison between numerical and laboratory modes[J]. *Earth and Plan Sci Lett*, 148(1—2): 1—11.

- 1997 李献华, 胡瑞忠, 饶冰. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学[J]. 地球化学, 26(2): 14—30.
- 1998 刘兴忠, 谢佑新, 罗长本, 等. 火山岩型铀矿找矿指南[J]. 核工业北京地质研究院年报, 15: 73—81.
- 1998 张铭杰, 王先彬, 刘刚, 等. 中国东部新生代碱性玄武岩中的流体组成及其碳、氧同位素地球化学特征[J]. 地球化学, 27(5): 452—456.
- 1999 Li Z X, Li X H, Kinny P D *et al.* The breakup of Rodinia: Did it start with a mantle plume beneath South China? [J]. *Earth and Plan. Sci. Lett.*, 73(3): 171—187.
- 1999 Ge W, Lin Q, Sun D. *et al.* Geochemical characteristics of the Mesozoic basalts in Da hinggan Ling: Evidence of the mantle-crust interaction[J]. *Acta Petrologica Scica*, 15(3): 396—407.
- 1999 吴福元, 孙德有. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄[J]. 长春科技大学学报, 29(4): 313—317. ; 73—81.
- 1999 毛建仁, 陶奎元, 邢光福, 等. 中国东南大陆边缘中生代地幔柱活动的岩石学记录[J]. 地球学报, 20(3).
- 2000 Brunet D, Yuen D A. Mantle plumes pinched in the transition zone[J]. *Earth and Plan. Sci. Lett.* 178(1—2): 13—27.
- 2000 Kumagai I, Kurita K. On the fate of mantle plumes at density interfaces[J]. *Earth and Plan. Sci. Lett.* 179(1): 63—71.
- 2000 Marquart G, Schmeling H. Interaction of small mantle plumes with the spinelperovskite phase boundary: Implications for chemical mixing[J]. *Earth and Plan. Sci. Lett.* 177(3—4): 241—254.
- 2000 Marquart G, Schmeling H. Conditions for plumes to penetrate the mantle phase boundaries[J]. *Journal of Geophysical Research B: Solid Earth*, 105(3): 5679—5693.
- 2000 方维萱, 张国伟, 胡瑞忠, 等. 陕西二台子铜金矿床钠长石碳酸(角砾)岩类特征及形成构造背景分析[J]. 岩石学报, 16(3): 392—400.
- 2000 路凤香, 郑建平, 李武平, 等. 中国东部显生宙地幔演化的主要样式: “蘑菇云”模型[J]. 地学前缘, 7(1): 97—107.

## DISCUSSION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN MANTLE PLUME AND URANIUM MINERALIZATION

ZHAO Jun-hong, HU Rui-zhong, JIANG Guo-hao, XIE Gui-qing

(*Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang 550002, China*)

**Abstract:** There is a large area of Mesozoic acidic volcanic rock in southeastern China, which is an important area of volcanic uranium deposits. The display of the uranium deposits is charged by regional fault structure. Many geologists have studied the genesis of mantle plume. After talked about the mantle plume, the article concluded that the mantle plume in southeastern China is not only the heat for acidic volcanic rock, but also the source for mineralizer agent (CO<sub>2</sub>). The plume corresponds to the Pacific-Eurasia plate collision, joined the mantle-metasomatism and thinning of the lithosphere too. The pulse move of the mantle plume probably was the source of many times mineralization and mineralizer agent for the uranium in southeastern China.

**Key words:** Mantle plume; southeastern China; volcanic-uranium deposit