

文章编号:0258-7106 (2007) 02-0139-14

# 华南地区中生代以来岩石圈伸展及其与铀成矿关系研究的若干问题\*

胡瑞忠, 毕献武, 彭建堂, 刘 燊, 钟 宏, 赵军红, 蒋国豪

(中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002)

**摘 要** 华南地区中生代以来存在大规模的岩石圈伸展作用, 与伸展作用相对应, 形成了大量花岗岩型、火山岩型和碳硅泥岩型铀矿床。文章详细总结了华南中生代以来岩石圈伸展作用和铀成矿作用的研究进展。通过系统分析, 认为要深刻揭示岩石圈伸展与区域铀成矿的关系, 至少尚有两大重要科学问题未解决: 其一是华南白垩纪—第三纪岩石圈伸展和铀成矿的准确期次及其空间迁移规律; 其二为岩石圈伸展期铀成矿的必然性或铀为什么会集中在岩石圈伸展期成矿。要解决第一个问题, 需要对铀矿床和岩石圈伸展期形成的基性脉岩开展系统的高精度定年工作; 要解决第二个问题, 则需要系统研究成矿流体中  $\text{CO}_2$  等气体组分在铀成矿中的作用及其成因。

**关键词** 地质学; 白垩纪—第三纪; 岩石圈伸展; 幔源  $\text{CO}_2$ ; 铀成矿; 华南

**中图分类号**: P619.14

**文献标识码**: A

## Some problems concerning relationship between Mesozoic-Cenozoic lithospheric extension and uranium metallogenesis in South China

HU RuiZhong, BI XianWu, PENG JianTang, LIU Shen, ZHONG Hong,  
ZHAO JunHong and JIANG GuoHao

(State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China)

### Abstract

Previous studies have shown that there existed large-scale lithospheric extension events during the Cretaceous-Tertiary period in South China, and that large-scale uranium mineralization occurred at the same time in this area, which resulted in the formation of many important uranium deposits such as granite-hosted, volcanics-hosted and Carbonaceous-siliceous-pelitic sedimentary rock-hosted ones. This paper reviews previous researches on lithospheric extension and uranium metallogenesis in South China since Mesozoic, and preliminarily discusses their temporal and spatial associations. In order to precisely reveal the relationship between lithospheric extension and uranium metallogenesis, it is suggested that at least two fundamental problems should be solved. The first is the accurate episodes of extension and uranium mineralization, and the second is the mechanism governing the control of the tectonic regime over the formation of the uranium deposits. To probe into these problems, it is necessary to accurately date the uranium deposits and the mafic dikes intruded during the Mesozoic extension and

\* 本文由国家自然科学基金重点项目(40634020)、国家自然科学基金面上项目(40673042)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX-SW-125)联合资助

第一作者简介 胡瑞忠,男,1958年生,博士,研究员,博士生导师,从事矿床学和地球化学研究。Tel:0851-5891962, Email: huruizhong@vip.gyig.ac.cn

收稿日期 2006-11-14; 改回日期 2007-01-22。张绮玲编辑。

to determine the role and origin of gaseous components such as CO<sub>2</sub> in ore-forming fluids.

**Key words:** geology, Cretaceous-Tertiary, lithospheric extension, mantle-origin CO<sub>2</sub>, uranium metallogenesis, South China

板块构造理论的诞生引发了地球科学的一场革命,导致洋壳以及洋-陆相互作用的动力学研究取得了长足进展,发现了活动大陆边缘的成矿分带现象。20世纪70年代提出的碰撞造山理论,又进一步推动了大陆地质的研究。后来,一些地质学家根据板块构造与成矿的关系,提出了一系列新的成矿模式和理论。然而,板块构造理论在解释大陆成矿现象方面遇到了一系列重大难题和挑战,该理论提供了解释大陆古板块演化过程中成矿问题的宏观理论框架,但对解释板块碰撞后陆内演化阶段的成矿作用则尚无现成答案。在这种背景下,大陆动力学与成矿关系的研究也就成了当今地学研究的重要前沿之一。

大陆岩石圈伸展带是探讨大陆动力学的重要窗口。在以往的大陆动力学及其成矿作用研究中,大多侧重于对造山带的研究,对板块内部大陆岩石圈伸展带的壳幔作用方式和成矿作用等方面的研究则相对薄弱。近几年的研究发现,华南地区中生代以来存在大规模的岩石圈伸展作用。与伸展作用相对应,形成了大量花岗岩型、火山岩型和碳硅泥岩型铀矿床。如下所述,华南的大规模铀成矿作用是一种典型的非造山或岩石圈伸展环境中的矿化,是研究岩石圈伸展作用与成矿关系的典型范例。深入研究该区中生代以来的岩石圈伸展作用及其与铀成矿的关系,不仅可深刻揭示中生代以来该区大规模铀成矿作用的机制和规律,丰富铀成矿理论,为寻找中国目前紧缺急需的铀矿资源提供科学依据,而且可以作为一个典型范例来深入认识大陆岩石圈伸展体制下的成矿作用方式,从而充实大陆动力学与成矿关系的理论体系。

## 1 地质背景

华南地处欧亚大陆东缘,濒临西太平洋,由扬子地块和华夏地块组成(图1)。华南的北面有晚古生代和早中生代的秦岭-大别造山带横亘于华北地块与扬子地块之间,西面有青藏高原与扬子地块接壤。

华南的褶皱基底是相对富含铀的前寒武纪地层(邓平等,2003;Yan et al., 2003)。这些地层主要由杂砂岩、板岩、碳酸盐岩和硅质岩组成,已高度褶皱,

但变质较弱。扬子地块西南缘,前寒武纪地层出露长达1000余公里,构成从杭州经长沙到贵阳一线的江南古陆,其中产出有大量碳硅泥岩型铀矿床。华南的沉积盖层主要为海相成因的古生代和早中生代褶皱地层(Yan et al., 2003)。侏罗纪以后,主要在后加里东隆起带上形成了一系列沿NE-NNE走向断陷盆地分布的陆相红层。

华南地区岩浆活动频繁。火山岩集中分布于福建、江西、浙江等省,构成沿海中酸性火山岩带,这些火山岩的时代主要为晚侏罗世—早白垩世,其中产出有大量火山岩型铀矿床。在华南内陆地区各类花岗岩广泛分布,构成一宽约600 km、大致与沿海中酸性火山岩带平行的花岗岩带。这些花岗岩主要是侏罗纪到早白垩世的产物,其次为印支期、加里东期和晋宁期花岗岩,花岗岩的成岩时代大致具有从内陆向沿海逐渐变年轻的趋势(Zhou et al., 2000),其中产出有大量花岗岩型铀矿床。据前人研究,华南地区145 Ma前的花岗岩主要为造山成因的S型和I型花岗岩,而更年轻的早白垩世花岗岩主要为非造山成因的碱性花岗岩和A型花岗岩(李献华等,1997;Li,2000)。有人认为造山花岗岩是古太平洋板块向欧亚板块俯冲的结果(Yui et al., 1996; Campbell et al., 1997; Zhou et al., 2000)。

目前一般认为,华南不同的构造单元在三叠纪已拼合为一个统一的整体。此后,该区有了一致或相似的地质演化历史(张勤文等,1982;马杏垣,1983;Li,2000)。

## 2 华南中生代以来岩石圈伸展及其与区域铀成矿的时空关系

### 2.1 华南中生代以来岩石圈伸展作用

由于华南地区中生代广泛而强烈的中酸性岩浆活动和成矿作用及其特殊的大地构造位置,该区中生代以来的大陆动力学背景吸引了国内外地质学家的广泛关注,研究工作取得了大量重要成果。其中之一就是近年来发现中生代以来的构造大转折——岩石圈大减薄。尽管关于构造体制转折的时限目前尚有争议,但越来越多的学者确信,至少自白垩纪以来,华南地区已主要处于陆内岩石圈伸展的构造环

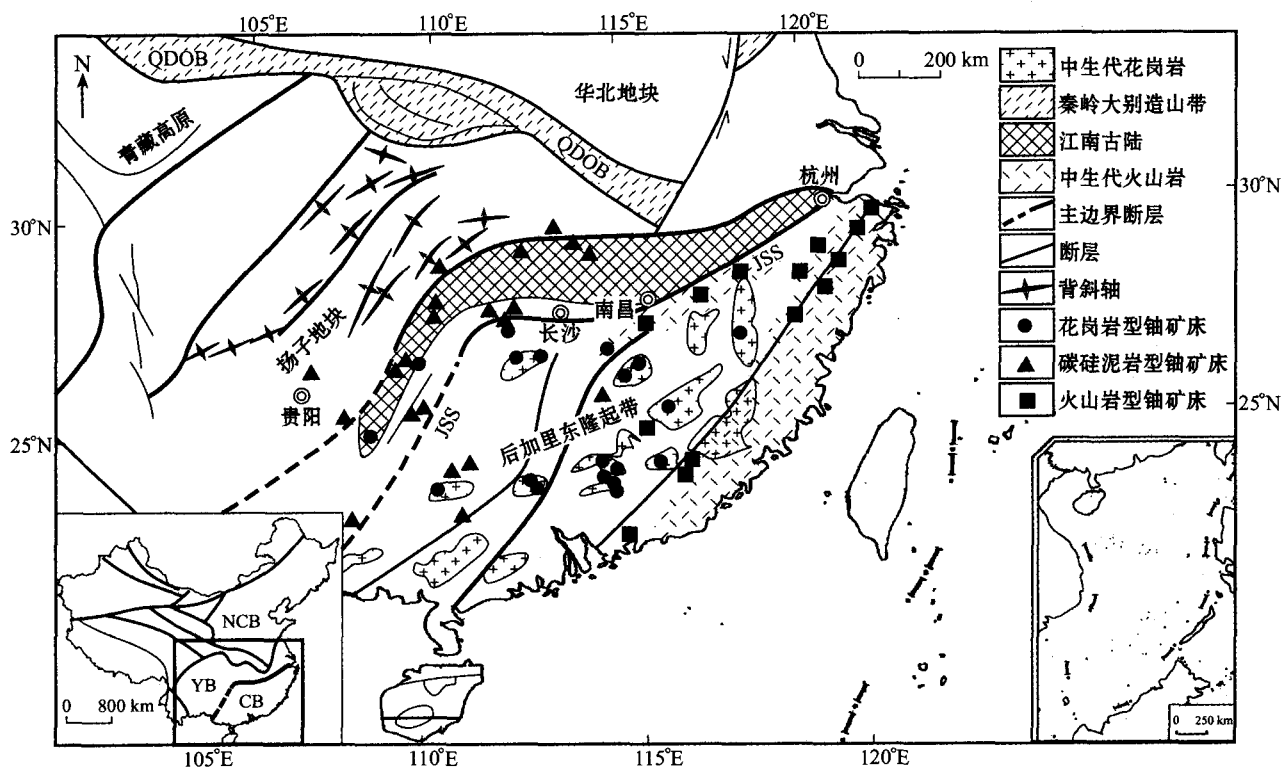


图 1 华南地质和铀矿分布简图(据 Yan et al., 2003 修改)

CB—华夏地块; YB—扬子地块; NCB—华北地块; QDOB—秦岭大别造山带; JSS—江山-绍兴断裂

Fig. 1 Simplified geological map of South China showing tectonic units and distribution of uranium deposits (modified from Yan et al., 2003)

CB—Cathaysian Block; YB—Yangtze Block; NCB—North China Block; QDOB—Qingling-Dabie orogenic belt; JSS—Jiangshan-Shaoxin fault.

Solid Circle—Granite-hosted uranium deposits; Solid triangle—Carbonaceous-siliceous-pelitic sedimentary rock-hosted uranium deposits;

Solid square—Volcanic-hosted uranium deposits

境。主要证据是:

(1) 岩浆活动

研究发现, 侏罗纪与白垩纪的岩浆活动在组成和产地上均存在明显差异, 化学组成的明显不同反映了构造环境的重大变化(Li, 2000)。侏罗纪或早中生代的岩浆活动主要形成过铝质的 S 型花岗岩和部分 I 型花岗岩, 它们大多分布于华南的偏西区域, 通常认为与板块俯冲或碰撞有关(如 Yui et al., 1996; Campbell et al., 1997; Zhou et al., 2000)。相反, 白垩纪或晚中生代以来的岩浆活动主要以 A 型花岗岩、高钾 I 型花岗岩、双峰式火山岩和板内基性脉岩的广泛发育为特征, 这些岩石主要分布于东南沿海和华南内部 NE-NNE 向深大断裂两侧, 与美国西部盆岭省第三纪的岩浆活动类似, 被广泛认为是岩石圈伸展作用的产物(张勤文等, 1982; Gilder et al., 1991; Lin et al., 1995; 李献华等, 1997; Li

et al., 1998; Li, 2000; 王强等, 2002; 谢桂青等, 2002; 2005; 徐夕生等, 2002; 贾大成等, 2003; 范蔚茗等, 2003; Zhao et al., 2004; 范洪海等, 2005; 刘昌实等, 2005; 邱检生等, 2005)。

(2) 断陷盆地

华南晚中生代以来形成了一系列 NE-NNE 向的断陷盆地(图 2)。地质、地球物理和地球化学研究一致表明, 这些断陷盆地是白垩纪—第三纪岩石圈伸展作用的产物(张勤文等, 1982; 马杏垣, 1983; Liu H F et al., 1985; Liu, 1986; Yu, 1990; Goodell et al., 1991; Qiu et al., 1991; Faure et al., 1996; 陈跃辉等, 1997; Li, 2000; 吕庆田等, 2004; Liu S F et al., 2004; 张岳桥等, 2004), 类似于美国西部盆岭省的断陷拉伸盆地(Gilder et al., 1991)。例如, 该区最北缘的赣杭盆地(图 2), 呈 NE-NNE 向展布, 长 > 450 km, 宽仅 15~20 km, 下陷深度达数千

米,其中被巨厚的红色磨拉石型陆相沉积物充填并有双峰式火山岩夹层,盆地范围内重力值高,P-波速度揭示莫霍面位置显著高于盆地外侧,反映该盆地是白垩纪以来地幔上涌、地壳受到强烈拉张的产物(陈肇博,1985;Gilder et al.,1991;Goodell et al.,1991;陈跃辉等,1996;1997;余心起等,2005)。

### (3) 变质核杂岩

研究发现,分布于美国西部盆岭省的变质核杂岩属于典型的拉张构造。尽管其动力学机制较为复杂(Lee et al.,1987;Malavieille,1987),但一般认为它们是在岩石圈水平伸展作用下,由于大规模正断层的发育使得地壳较深层次的物质被拖拉至地壳浅层而形成(Wernicke,1981;Lister et al.,1989;陈跃辉等,1997;楼法生等,2005)。目前已发现,华南地区也发育有较多的变质核杂岩,如云开大山、武夷山、武功山、幕阜山和星子变质核杂岩等。研究证实,这些变质核杂岩是早白垩世以来伸展背景下穹升的结果(Faure et al.,1996;Faure,1998;陈跃辉等,1997;舒良树等,1998;李显武等,2001;Lin et al.,2000;Wang et al.,2001)。

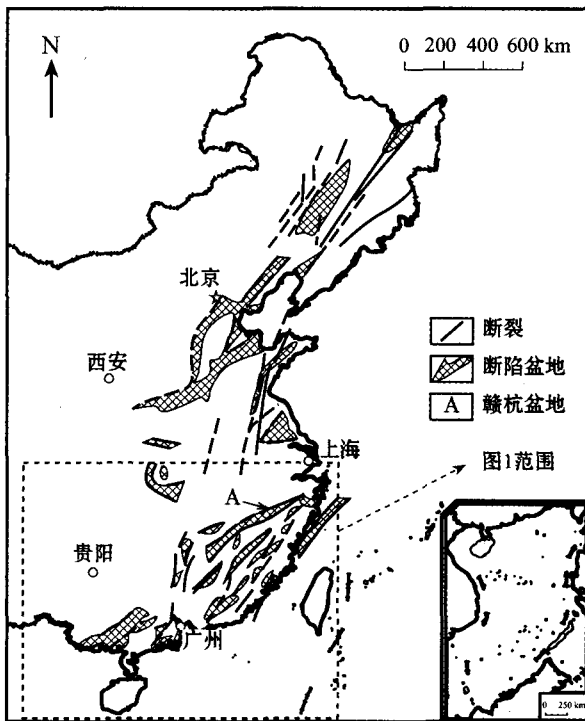


图2 中国东部白垩纪—第三纪断陷盆地分布简图

(据 Gilder et al., 1991)

Fig. 2 A sketch map showing the Cretaceous-Tertiary extensional basins of Eastern China (from Gilder et al., 1991)

## 2.2 华南铀矿床与中生代以来岩石圈伸展构造的时空关系

华南是中国最重要的铀矿产区之一,赋矿围岩主要有花岗岩、流纹质火山岩和碳硅泥岩。根据赋矿围岩的不同,人们习惯称其为花岗岩型、火山岩型和碳硅泥岩型铀矿床。矿床明显受断裂控制,矿体呈脉状和不规则状产出,主要矿物组合为沥青铀矿、黄铁矿、赤铁矿、石英、方解石和萤石,是典型的热液铀矿床,成矿温度约为150~300℃。

### (1) 空间分布

华南自西向东,这些铀矿床的总体分布趋势是碳硅泥岩型—花岗岩型—火山岩型。碳硅泥岩型铀矿床主要分布于江南古陆两侧,花岗岩型铀矿床主要分布于华南后加里东隆起带上,火山岩型铀矿床主要分布于东南沿海和赣杭火山岩带上(虽然在某些区域可同时存在2种或3种类型的铀矿床)(图1)。这种分布趋势主要反映了各类赋矿围岩的空间分布特点。

在空间分布上,华南铀矿床最重要的特点是与中生代以来岩石圈伸展背景下形成的断陷盆地和幔源基性脉岩密切相伴(如陈肇博,1982;1985;陈祖伊等,1983;杜乐天等,1984;胡瑞忠等,1993;2004;Min,1995;陈跃辉等,1997;Min et al.,1999)。从区域上看,大面积无盆区均是无矿区。如华南产有较多火山岩型铀矿床的赣杭晚侏罗世火山岩带,其核部是一个狭长(>450 km)的NE-NNE向白垩纪—第三纪断陷盆地。目前该区发现的火山岩型铀矿床,均分布在该盆地附近的侏罗纪火山岩中(陈肇博,1982;Goodell et al.,1991;陈跃辉等,1997)。另一个典型例子是广东境内的贵东花岗岩体。该岩体近东西向展布,出露面积约1000 km<sup>2</sup>。近10个铀矿床均产于岩体东部,这里有白垩纪以来形成的成群的幔源基性脉岩产出(胡瑞忠等,1990a;李献华等,1997),且岩体东南侧还有白垩纪—第三纪断陷盆地。而岩体西部既无基性脉岩也无白垩纪—第三纪断陷盆地,与此对应的是迄今未发现具有经济价值的铀矿床(邓平等,2003)。碳硅泥岩型铀矿床亦如此,如广西铲子坪、江西董坑和湖南许家洞等地的碳硅泥岩型铀矿床分布区,也均有白垩纪—第三纪断陷盆地存在(北京铀矿地质研究所,1982)。不仅如此,不同矿化类型(花岗岩型、火山岩型、碳硅泥岩型)的铀矿床沿同一断陷盆地发育的现象亦不少见,如江西会昌盆地和广西资源盆地等。

## (2) 时间分布

事实证明, 华南中生代以来的岩石圈伸展并非连续而是幕式进行的。首先, 断陷拉伸盆地中的沉积作用并非连续, 而是存在周期性的不整合, 如赣杭盆地 (Goodell et al., 1991)、三水盆地 (Qiu et al., 1991) 和其他盆地 (张勤文等, 1982; 马杏垣, 1983)。其次, 在华南的很多白垩纪—第三纪断陷红盆中见有多层双峰式火山岩与盆地内的沉积红层互层 (Goodell et al., 1991; Qiu et al., 1991)。第三, 该时期形成的幔源基性脉岩在一些露头上见有相互穿插的现象 (李献华等, 1997; 邓平等, 2003)。过去对中生代以来岩石圈伸展期形成的幔源基性脉岩 (和 A 型花岗岩) 已做过一些年代学工作。资料 (李献华等, 1997; 余达淦, 1992; 笔者未发表资料) 统计结果表明, 在 135~145 Ma、115~125 Ma、100~110 Ma、85~95 Ma、70~75 Ma 和 45~55 Ma 左右具有较集中的年龄数据 (图 3A), 它们可能代表了中生代以来 6 次重要的岩石圈伸展事件。

华南的产铀花岗岩、火山岩和碳硅泥岩, 分布于不同的大地构造单元 (江南古陆、后加里东隆起带和东南沿海中生代火山岩带), 形成于直至前寒武纪的任何地质时代, 但矿石矿物沥青铀矿的 U-Pb 同位素年龄数据表明, 不同类型的铀矿床在成矿时代上具有很好的一致性, 铀成矿大都集中在白垩纪—第三纪约 145~40 Ma 的范围内, 铀矿床相对于赋矿围岩是后生的, 矿岩时差达 20 Ma 甚至 700 Ma (杜乐天等, 1984)。对成矿年龄数据 (杜乐天, 1982; 胡瑞忠, 1991; 王剑锋, 1992; 陈一峰, 1994; 张待时, 1994; 郭葆墀等, 1995; 沈丰等, 1995; 王玉生等, 1995; 陈跃辉等, 1997; 王明太等, 1999; 徐达忠等, 1999) 的统计结果表明, 该区不同类型的铀矿床大致有 6 个主成矿期, 其峰值年龄分别为距今约 140~135 Ma、120~115 Ma、100~105 Ma、90~85 Ma、70~65 Ma 和 50~45 Ma (图 3B)。显而易见, 无论从整个年龄范围还是从其中的峰值年龄来看, 华南铀矿床的成矿时代都与该区中生代以来由基性脉岩反映的岩石圈伸展事件的时代具有较好的对应关系。

### 2.3 待解决的科学问题: 岩石圈伸展和铀成矿的准确期次及其空间迁移规律

尽管对白垩纪以来华南主要处于岩石圈伸展环境和铀成矿集中在白垩纪—第三纪这两点, 目前人们已基本达成共识, 但是该区白垩纪—第三纪期间, 岩石圈伸展和铀成矿的准确期次及其空间迁移规律

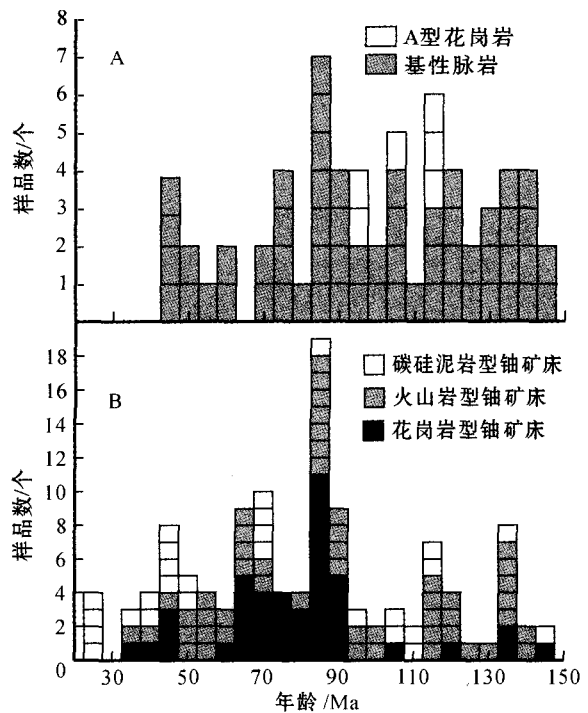


图 3 华南白垩纪—第三纪岩石圈伸展(A)与铀成矿(B)时代对应关系图

Fig. 3 Histogram showing the ages of uranium mineralization and crustal extension

A. Ages of mafic dikes and A-type granites in South China; B. U-Pb ages of pitchblende from the uranium deposits in South China

如何, 目前则还远未找到很好的答案。具体表现为以下 2 个方面: ①虽然在年龄直方图上存在基本能对应的上述 6 个相对集中的峰值年龄 (图 3), 但无论是由沥青铀矿反映的铀成矿年龄还是由基性脉岩反映的岩石圈伸展时代, 从 150 Ma 到 40 Ma 的整个年龄区间都有年龄样品分布, 显示出了不同程度的连续性; ②虽然白垩纪以来华南整体上经历了若干次岩石圈伸展和铀成矿事件, 但对于岩石圈伸展及其铀成矿在华南不同区域的相对先后关系的认识尚未形成清晰的轮廓。造成上述 2 个问题的主要原因是: 以往以基性脉岩为对象来确定与该区白垩纪—第三纪岩石圈伸展时限有关的定年数据, 除少量较高精度的锆石 U-Pb 年龄和单矿物  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  年龄外, 绝大多数为基性脉岩的全岩 K-Ar 年龄。由于基性脉岩通常含钾较低, 加之易蚀变导致氩的丢失或混染, 从而给全岩 K-Ar 年龄的可靠性带来了某种程度的不确定性 (Black et al., 1991; Thomas et al., 1998); 另一方面, 以往对该区铀矿床的定年, 多采用的是单个沥青铀矿样品的 U-Pb 年龄, 较高精度的沥

青铀矿 U-Pb 等时线年龄数据极少,从而也给铀成矿年龄的精度带来了某种程度的不确定性。由于无论是反映岩石圈伸展还是反映铀成矿的高精度定年数据都十分有限,因此,目前岩石圈伸展和铀成矿两方面的年龄数据库,都还不足以较精确地厘定该区白垩纪—第三纪期间岩石圈伸展和铀成矿的准确期次及其空间迁移规律。基于①华南白垩纪以来的基性脉岩分布广泛,且从基性脉岩中能够挑选出可用于 U-Pb 定年的单颗粒锆石和其它适于 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 定年的新鲜矿物(作为预研究,作者已选择部分基性脉岩大样,从中挑选出了锆石。根据矿物学和地球化学研究,这些锆石是在基性脉岩结晶成岩时形成的);②沥青铀矿 U-Pb 等时线定年已是一种较为成熟的方法。因此,很有必要在系统研究以该区白垩纪—第三纪断陷拉伸盆地为主的宏观区域构造背景的基础上,系统开展基性脉岩高精度的单颗粒锆石 U-Pb 和单矿物 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 定年以及铀矿体高精度的沥青铀矿 U-Pb 等时线定年工作,以精确限定华南白垩纪—第三纪期间岩石圈伸展和铀成矿的准确期次及其空间迁移规律,深刻揭示该区白垩纪—第三纪期间的大陆动力学演化历史及其与区域铀成矿的对应关系。

### 3 华南白垩纪—第三纪岩石圈伸展与区域铀成矿的成因关系

#### 3.1 铀成矿与华南中生代成矿大爆发

华南以中生代成矿大爆发著称于世,主要包括 W、Sn、Nb、Ta、Li、Be、Cu、Fe、Pb、Zn、Au、Ag 和 U 等的成矿作用。华仁民等(2003)的研究指出,要想把如此丰富多彩的矿床非常恰当地归纳到几个界限分明的成矿系统中几乎不太可能。但是,除铀外,其他矿种的以下趋势或轮廓是基本明确的:

(1) 该区中生代成矿大爆发主要与当时广泛而强烈的花岗质岩浆活动有关(毛景文等,1999;华仁民等,1999);

(2) W、Sn、Nb、Ta、Li、Be 和 Cu、Fe、Pb、Zn、Au、Ag 大致分别与传统意义上的 S 型花岗岩和 I 型花岗岩相关联(中国科学院地球化学研究所,1979;南京大学地质系,1981;莫柱荪等,1980;陈跃辉等,1997;Ye et al., 1998;华仁民等,2003);

(3) 虽然不排除部分 Sn 矿和 Cu、Pb、Zn、Au、Ag 矿有较年轻的成矿时代(如江西岩背锡矿为 114Ma, Liu et al., 1999;福建紫金山 Cu-Au 矿为 100~122 Ma, 张德全等,1992;So et al., 1998;江西冷水坑

Pb-Zn-Ag 矿为 100~136 Ma,徐文炘 2000),但作为一个整体,华南的上述矿床主要是在 150~160 Ma 期间或其左右形成的(Mckee et al., 1987; Pan et al., 1999;毛景文等,2000;Yin et al., 2002;Lu et al., 2003),相当于晚侏罗世,与华南燕山早期花岗岩浆活动高峰期(~155 Ma; Li, 2000)对应;

(4) 这些矿床矿岩时差很小,尽管成矿过程中不可避免地有大气降水的参与,但成矿流体与花岗岩浆的分异作用都具有不同程度的关系(中国科学院地球化学研究所,1979;南京大学地质系,1981;Mckee et al., 1987;李红艳等,1996;Giuliani et al., 1988;Liu et al., 1999;Pan et al., 1999;Yin et al., 2002;Zhang et al., 2003;Lu et al., 2003;华仁民等,2005)。

但是,该区的大规模铀成矿作用与上述其他内生金属矿床具有很不相同的特征:与其他内生金属矿床相比,铀的主成矿期明显滞后,大规模铀成矿的地质界线是区域上断陷盆地的出现和基性脉岩的侵入,而此时其他内生金属矿床的大规模成矿已趋结束,铀矿化是一种典型的非造山或岩石圈伸展环境中的矿化(陈祖伊等,1983;陈肇博,1985;胡瑞忠,1990;1991;胡瑞忠等,1993;2004;陈跃辉等,1997;Min et al., 1999)。与此相对应,铀成矿的机理与该区其他内生金属矿床亦大不相同。对广泛分布于华南的这些铀矿床成矿流体中水和铀的来源,前人已做了大量研究,发现:①矿床围岩与矿床存在高达 20~700 Ma(通常大于 50 Ma)的时差(杜乐天等,1984),从而可以排除形成赋矿花岗岩和火山岩的酸性岩浆提供水的可能性;②众多 H、O 同位素研究结果一致显示成矿流体中的水主要为大气成因(杜乐天等,1984;王联魁等,1987;金景福等,1990;卢武长,1990;徐达忠,1990;胡瑞忠等,1993;Min, 1995;Min et al., 1999);③华南地区主要以相对富铀的元古代地层为基底,衍生出了多时代各类相对富铀岩石的广泛分布,这也是华南各类铀矿床广泛发育的主要原因之一(杜乐天,1982;陈肇博,1985;胡恭任等,1998;Min et al., 1999;邓平等,2003)。研究发现,在所有铀矿分布区或其附近,均有比铀成矿超前形成的相对富铀的地质体存在,虽然这些富铀地质体的岩性可以不同,但它们的铀含量均高于同类岩石铀克拉克值的若干倍,一般为  $5 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$ (杜乐天等,1984),表明这些岩石具有提供铀的潜力,就花岗岩型铀矿而言,陈培荣

(2004)近年的研究发现,印支期花岗岩对提供铀源可能具有重要意义;④矿石与这些相对富铀的岩石具有类似的 REE 和微量元素分布模式(杜乐天, 1982; Min, 1995; 胡恭任等, 1998; Min et al., 1999),表明矿石中的这些组分主要来自这些岩石;⑤U-Pb 同位素资料不仅揭示矿石与这些相对富铀的岩石具有相似性,而且发现这些富铀岩石中的铀发生了不同程度的丢失,暗示它们确为铀成矿提供了铀(王联魁等, 1987; 林祥铿, 1990; Min et al., 1999; 章邦桐等, 2003)。基于这些事实,目前几乎已公认,华南三大类型的铀矿床,是由循环于相对富铀岩石之断裂系统中的大气成因流体重新活化浸取这些岩石中的铀而成矿的,成矿流体的形成与酸性岩浆的分异作用无关。

### 3.2 待解决的科学问题: 岩石圈伸展期铀成矿的必然性

如前所述,华南三大类型铀矿床的成矿时代不受赋矿围岩的岩性、时代和所处的大地构造单元等局部因素控制,这些铀矿床不仅在空间上与白垩纪—第三纪岩石圈伸展期形成的断陷拉伸盆地和幔源基性脉岩密切相伴,而且在时代上也与白垩纪—第三纪岩石圈伸展事件具有较好的对应关系。这反映出伸展事件可能作为一个十分重要或缺其不可能大规模成矿的关键因素,在区域上统一制约了铀的成矿作用。与华南类似的例子是产于法国中央地块以及葡萄牙和捷克等国海西期花岗岩中的脉型铀矿床(Ruzicka, 1993)。这些脉型铀矿床的成矿流体富含  $\text{CO}_2$ , 成矿流体中的铀以  $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$  和  $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$  形式迁移,铀矿床与海西期花岗岩有很大时差,铀成矿亦是紧接在岩石圈伸展背景下侵位的煌斑岩之后发生的(Leroy, 1978; Ruzicka, 1993; Marignac et al., 1999)。然而,华南和西欧的这些铀矿床为何在岩石圈伸展期成矿或者岩石圈伸展与铀成矿间究竟存在何种必然联系? 这是一个尚未得到很好解决的重要问题。

华南铀矿床集中在白垩纪—第三纪岩石圈伸展期成矿并脉动性地具有几个主成矿期,是 20 世纪 70 年代就已被注意到的重要地质事实。围绕这一问题已开展过较多的研究工作。概而言之,以往主要提出了 3 种观点:干热气候说是最早的观点,认为铀矿床产在断陷红盆附近,时间上与红盆形成相当,反映当时的干热古气候对铀的风化淋滤有利,属于淋积型铀矿床(周维勋, 1982)。但其不能合理解释铀矿

床较高的成矿温度(约  $150\sim 300^\circ\text{C}$ )、较大的矿化垂幅( $600\sim 1\ 000\text{ m}$  或更大)尤其是铀成矿的脉动性等一系列重要现象(杜乐天等, 1984; 胡瑞忠, 1994); 热水浸出说: 主要依据铀矿床矿岩时差和矿化垂幅较大以及成矿温度较高等事实,认为它们是循环地下水在沿断裂上升过程中从富铀岩石中浸出铀,然后运移至近地表沉淀成矿的(杜乐天, 1964; 杜乐天等, 1984; 王联魁等, 1987; 陈跃辉等, 1997; 王明太等, 1999; Min et al., 1999)。岩石圈伸展构造及其同时的幔源岩浆活动为铀成矿准备了有利的构造空间和加热地下水的能量条件(杜乐天等, 1984; 陈跃辉等, 1997); 深源矿化剂说: 早在 20 世纪 80 年代就有学者根据铀成矿的地质背景推测,成矿流体中的  $\text{CO}_2$  等矿化剂组份可能是地幔来源的(陈肇博, 1982; 陈祖伊等, 1983)。近年来,笔者继承热水浸出说的合理成分,主要基于铀成矿与白垩纪—第三纪岩石圈伸展事件的同时性、成矿流体形成的地球化学过程,以及初步的碳同位素和少量的稀有气体同位素研究工作,初步证实成矿流体中的  $\text{CO}_2$  等矿化剂组份受岩石圈伸展事件控制主要来自地幔,并对浸出富铀岩石中的铀而成矿起了重要作用(胡瑞忠, 1989; 1990; 1991; 1994; 胡瑞忠等, 1993; 2004; Hu et al., 2003),从而从成因上初步搭建起了联系铀成矿与岩石圈伸展之间的桥梁。主要论点是:

(1) 华南地区铀含量较高的各类铀源岩石广泛分布,这为该地区能够发生铀的大规模成矿作用提供了重要的前提条件。

(2) 热液中铀主要以络离子形式存在,不含矿化剂(指热液中能够与铀形成稳定络离子而迁移的阴离子配位体,包括 F、Cl 和  $\text{CO}_2$  等)的热水中铀的溶解度很低,即使其作用于富铀岩石,也不可能形成富铀热液。

(3)  $\text{CO}_2$  是含铀热液的重要组成部分之一,远高于其他阴离子(如  $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  等)的含量,虽然其他形式不能完全排除,但成矿热液中的铀主要以  $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$  和  $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$  形式迁移(Rich et al., 1977; Leroy, 1978; 杜乐天, 1982; 北京铀矿地质研究所, 1982; 陈肇博, 1982; 张祖还, 1984; Jin et al., 1988; Ruzicka et al., 1993; 胡瑞忠等, 1990b; 1993)。因此,成矿热液中的铀,应是在热液富含  $\text{CO}_2$  之后才开始从铀源岩石大量转入热液的。显然,  $\text{CO}_2$  加入热液的时间应大致可反映原贫铀热液转变成富铀热液的时间或铀成矿时间。

(4)成矿流体中的 CO<sub>2</sub> 等矿化剂组份是受岩石圈伸展事件控制主要来自地幔的,白垩纪—第三纪期间岩石圈伸展的多期性,导致了向大气成因循环地下水提供幔源 CO<sub>2</sub> 等矿化剂组份的多期性,因而也造成了大致与几个岩石圈伸展事件同时的铀成矿的多期性。

然而,尽管深源矿化剂说较合理地解释了岩石圈伸展事件与铀成矿事件间可能具有的必然联系,但研究工作仍是初步的,远未形成理论体系,尚有众多科学问题需要深入系统的研究和探索。主要包括:

(1)年代学问题。虽然以往的工作从大区域角度已初步证实,华南铀矿床的成矿时代与该区白垩纪—第三纪岩石圈伸展事件的时代具有较好的对应关系,但就整个区域岩石圈伸展与铀成矿年龄对应关系的精度,尤其是矿区、矿田尺度上这种高精度年龄对应关系的确定方面,还远未得到很好限制。该方面的问题前已详细叙及,不再赘述。

(2)碳同位素示踪问题。以往示踪华南铀矿成矿流体中 CO<sub>2</sub> 的来源,依据的主要手段之一是碳同位素。但是还存在以下两方面的主要问题:①包括笔者测定和收集到的有关华南铀矿的碳同位素数据目前只 120 个左右,其数据量还不足以代表华南 100 余个铀矿床的全貌,因此有必要扩充华南铀矿的碳同位素数据库;②目前已有的 δ<sup>13</sup>C 数据集中在 -3‰ ~ -10‰,绝大多数集中在 -6‰ ~ -8‰ 之间,与地幔值基本一致。但这些数据主要是与沥青铀矿共生的方解石的测定结果。用其代表成矿流体全碳的碳同位素组成,主要还是基于与其共生的矿物有赤铁矿无石墨大致推测的 (Ohmoto, 1972; Ohmoto et al., 1979),而未较精确地据成矿流体的实际温度、pH、f(O<sub>2</sub>) 等因素,来校正用方解石的 δ<sup>13</sup>C 来代表成矿流体全碳的 δ<sup>13</sup>C 所造成的误差。

(3)稀有气体地球化学和卤素元素丰度模型。近十多年来,稀有气体同位素在地壳流体的研究中取得了长足进展。这种进展主要表现为把过去仅局限于地壳现代流体的研究,扩展到了地质历史时期作为流体包裹体保存的成矿古流体的研究中,包括 He-Ar 体系 (Stuart et al., 1995; Hu et al., 1998, 2004; Kendrick et al., 2001; Burnard et al., 1999; 2004)、He-Ar-N<sub>2</sub> 体系 (Norman et al., 1994; 孙晓明等, 1999)、He-CO<sub>2</sub> 体系 (Marty et al., 1989; Burgess et al., 1998)、He/热比值 (Turner et al., 1992;

Burnard et al., 1999) 等。研究表明,稀有气体在地壳和地幔储库中具有极不相同的同位素组成,它们是壳-幔相互作用过程极灵敏的示踪剂。尤其是 He, 由于地壳氦 (<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He ≈ 0.01 ~ 0.05 Ra, Ra 为空气的 <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值) 和上地幔氦 (<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He ≈ 6 ~ 9 Ra) 的 <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值存在高达近 1 000 倍的差异,因此,氦同位素被认为是成矿流体中无幔源组分加入最为灵敏的示踪剂。笔者近期对华南最大的铀矿床——江西相山铀矿床开展了 He-Ar 同位素研究,结果支持成矿流体中 CO<sub>2</sub> 等挥发分主要为地幔来源的观点 (Hu et al., 2003)。与此同时,近年来由于对地幔挥发性组分的重视,卤素元素丰度模型也被认为是限定幔源气体的灵敏工具,研究工作取得了重要进展 (Bohlke et al., 1992; Irwin et al., 1995; Kendrick et al., 2001; 2005; Burgess et al., 2002; Burgess, 2004)。但是,这些示踪幔源气体组分来源的有效手段尚未系统地运用于或完全尚未涉足于华南铀矿的研究中。

## 4 结 论

(1) 以往对华南地质构造演化和铀成矿作用的研究已取得较好进展,主要表现为:基本确定了华南白垩纪—第三纪岩石圈大规模伸展作用的存在;基本确定了本区铀的大规模成矿作用集中发生在白垩纪—第三纪;基本确定了本区白垩纪—第三纪岩石圈伸展与区域铀成矿之间具有较密切的时空关系;研究工作已证实,华南地区多时代的各类富铀岩石广泛分布,华南铀矿成矿流体中的水主要是大气成因的地下水,其中的铀来自铀矿区及其邻区的各类富铀岩石;已有初步线索说明,CO<sub>2</sub> 等深源矿化剂对本区铀成矿可能具有重要控制作用。

(2) 要深刻揭示岩石圈伸展与区域铀成矿的关系,至少尚有两大重要科学问题未解决:其一是华南白垩纪—第三纪岩石圈伸展和铀成矿的准确期次及其空间迁移规律,其二为岩石圈伸展期铀成矿的必然性或铀为什么会集中在岩石圈伸展期成矿。要解决第一个关键问题,需要对铀矿床和岩石圈伸展期形成的基性脉岩等开展系统的高精度定年工作;要解决第二个关键问题,则需要系统研究 CO<sub>2</sub> 等气体组份在铀成矿中的作用及其成因。

(3) 在国内外已有研究进展的基础上,主要针对上述关键科学问题,选择华南白垩纪—第三纪岩



石圈伸展期形成的基性脉岩、断陷盆地和三大类型铀矿床为重点研究对象, 深入剖析大陆岩石圈伸展作用与铀成矿作用间的关系, 对建立岩石圈伸展体制下的铀成矿理论体系, 从而深入认识大陆岩石圈伸展体制下的成矿作用方式, 具有重要意义。

## References

- Beijing Institution of Uranium Geology. 1982. Collected papers on carbonaceous-siliceous-pelitic rock type uranium deposits[M]. Beijing: Publishing House of Atomic Energy. 1~208(in Chinese).
- Black L P, Kinny P D and Sheraon J W. 1991. The difficulties of dating mafic dykes: an Antarctic example[J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 109: 183~194.
- Bohlke J K and Irwin J J. 1992. Laser microprobe analysis of noble gas isotopes and halogens in fluid inclusions-analysis of microstandards and synthetic inclusions in quartz[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56: 187~201.
- Burgess R, Johnson L H, Matthey D P, Harris J W and Turner G. 1998. He, Ar, and C isotopes in coated and polycrystalline diamonds [J]. *Chemical Geology*, 146: 205~217.
- Burgess R, Layzelle E, Turner G and Harris J W. 2002. Constrains on the age and halogen composition of mantle fluids in Siberian coated diamonds[J]. *Earth Planet Sci. Lett.*, 197: 193~203.
- Burgess R. 2004. Noble gas and halogen composition of mantle fluids in Canadian diamonds [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 68 (11): A277~A277.
- Burnard P G and Polya D A. 2004. Importance of mantle derived fluids during granite associated hydrothermal circulation: He and Ar isotopes of ore minerals from Panasqueira[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 68: 1607~1615.
- Burnard P G, Hu R Z, Turner G and Bi X W. 1999. Mantle, crustal and atmospheric noble gases in Ailaoshan gold deposits, Yunnan province, China [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63: 1595~1604.
- Campbell S D G and Sewell R J. 1997. Structural control and tectonic setting of Mesozoic volcanism in Hong Kong[J]. *Journal of the Geological Society of London*, 154: 1039~1052.
- Chen P R. 2004. Geodynamic settings of Mesozoic magmatism in eastern China with respect to uranium mineralization[J]. *Uranium Geology*, 20(5):266~270(in Chinese with English abstract).
- Chen Y F. 1994. On the uranium metallogenic regularities in Lu-Zong region[J]. *Uranium Geology*, 10(4): 193~202(in Chinese with English abstract).
- Chen Y H, Chen Z Y, Cai Y Q, Shi Z H, Feng Q H and Fu J. 1997. Meso-Cenozoic extensional tectonic types and their main characteristics in southeastern China[J]. *Uranium Geology*, 12(5): 257~264 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y H, Chen Z Y, Cai Y Q, Shi Z H, Feng Q H and Fu J. 1997. Spatial and temporal evolution of Meso-Cenozoic extensional tectonics and the spatial and temporal distribution of uranium deposits [J]. *Uranium Geology*, 13(3): 129~146 (in Chinese with English abstract).
- Chen Z B. 1982. Mesozoic volcanic rocks-hosted uranium deposits in southeastern China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 56(3): 235~242 (in Chinese with English abstract).
- Chen Z B. 1985. Several basic problems on the metallogenic theory of vein-type uranium deposits[J]. *Uranium Geology*, 1(1): 1~15 (in Chinese with English abstract).
- Chen Z Y and Zhang L S. 1983. The stages of development of fault-block movement and continental red beds with respect to the regional uranium mineralization in South China[J]. *Acta Geologica Sinica*, (3):294~303(in Chinese with English abstract).
- Deng P, Shu L S and Tan Z Z. 2003. The metallogenic geological conditions of uranium-rich ores in Zhuguang-Guidong large-scale uranium metallogenic area[J]. *Geological Review*, 49(5): 486~494 (in Chinese with English abstract).
- Department of Geological, Nanjin University. 1981. Different granite in South China and their relations with mineralization [M]. Beijing: Sci. Press. 1~395(in Chinese).
- Du L T and Wang Y M. 1984. Uniform metallogenic mechanism among the granite-, volcanic-, carbonaceous-siliceous-pelitic rock and sandstone-hosted uranium deposits in South China[J]. *Radioactive Geology*, (3):1~10(in Chinese with English abstract).
- Du L T. 1964. A brief comment on "Definition of epithermal uranium deposits and several related problems"[J]. *Uranium Geology*, (2): 10~11(in Chinese with English abstract).
- Du L T. 1982. Collected papers on granite-hosted uranium deposits [M]. Beijing: Publishing House of Atomic Energy. 1~357(in Chinese).
- Fan W M, Wang Y J, Guo F and Peng T P. 2003. Mesozoic mafic magmatism in Hunan- Jiangxi Provinces and the lithospheric extension[J]. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 159~179(in Chinese with English abstract).
- Fang H H, Wang D C, Shen W Z, Liu C S, Wang X and Lin H F. 2005. Formation age of immediate-basic dikes and volcanic-intrusive complex in Xiangshan, Jiangxi[J]. *Geological Review*, 51(1): 86~91 (in Chinese with English abstract).
- Faure M, Sun Y, Shu L and Sun Y. 1996. Extensional tectonics within a subduction-type orogen, The case study of the Wugongshan dome (Jiangxi Province, southeastern China) [J]. *Tectonophysics*, 263: 77~106.
- Faure M. 1998. Doming in the southern foreland of the Dabieshan (Yangtze block, China) [J]. *Terra Nova*, 18: 307~311.
- Gilder S A, Keller G R, Luo M and Goodell P C. 1991. Timing and spatial distribution of rifting in China[J]. *Tectonophysics*, 197: 225~243.
- Giuliani G, Li D Y and Sheng T F. 1988. Fluid inclusion study of Xihuashan tungsten deposit in the southern Jiangxi Province, China[J]. *Mineralium Deposita*, 23: 24~33.
- Goodell P C, Gilder S and Fang X. 1991. A preliminary description of

- the Gan-Hang failed rift, southeastern China[J]. *Tectonophysics*, 197: 245~255.
- Guo B C, Zhang D S, Li S X and Zhu J C. 1995. Genesis of the carbonaceous-siliceous-pelitic rock type uranium deposits in Baoyuan area[J]. *Uranium Geology*, 11(5): 266~272(in Chinese with English abstract).
- Hu G R and Zhang B T. 1998. Geochemical study of uranium in basement metamorphic rock of Xiangxi volcanic collapse basin[J]. *Uranium Geology*, 14(1): 1~6(in Chinese with English abstract).
- Hu R Z. 1989. Metallogenic mechanism of Xiwang uranium deposit[J]. *Journal of Chengde Institution of Geology*, 16(3): 1~9(in Chinese with English abstract).
- Hu R Z. 1990. A possible metallogenic model for granite-hosted uranium deposits[J]. *Chinese Science Bulletin*, 35(7): 526~528(in Chinese).
- Hu R Z. 1991. Effect and Source of  $\Sigma\text{CO}_2$  during the formation of uranium deposits in South China[D]. Postdoctoral dissertation of Institution of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences(in Chinese with English abstract).
- Hu R Z. 1994. On the genesis of granite-hosted uranium deposits-taking those deposit in South China as example[J]. *Advance in Earth Sciences*, 9(2): 41~46(in Chinese with English abstract).
- Hu R Z and Jin J F. 1990a. Genesis of lamprophyre in Guidong granite [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 10(4): 1~7(in Chinese with English abstract).
- Hu R Z and Jin J F. 1990b. Mechanism of transport and precipitation of uranium in ascending hydrothermal solutions[J]. *Geological Review*, 36(4): 317~325(in Chinese with English abstract).
- Hu R Z, Li C Y, Ji S J and Yu J S. 1993. Source of  $\Sigma\text{CO}_2$  during hydrothermal mineralization of granite-hosted uranium deposits in South China[J]. *Science in China(Series B)*, 23(2): 189~196(in Chinese).
- Hu R Z, Burnard P G, Turner G and Bi X W. 1998. Helium and argon systematics in fluid inclusions of Machangqing copper deposit in west Yunnan province, China[J]. *Chemical Geology*, 146: 55~63.
- Hu R Z, Bi X W, Burnard P G, et al. 2003. Mantle-derived gaseous components in the Xiangshan uranium deposit, Jiangxi Province, Southeastern China: He, Ar and C isotope evidences[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 67: A161.
- Hu R Z, Bi X W, Su W C, Peng J T and Li C Y. 2004. The relationship between uranium metallogenesis and crustal extension during the Cretaceous-Tertiary in South China[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 153~160(in Chinese with English abstract).
- Hu R Z, Burnard P G, Bi X W, Zhou M F, Peng J T, Su W C and Wu K X. 2004. Helium and argon isotope geochemistry of alkaline intrusion-associated gold and copper deposits along the Red River-Jingsha-jiang fault belt, SW China[J]. *Chemical Geology*, 203: 305~317.
- Hua R M and Mao J W. 1999. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in East China[J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 300~307(in Chinese with English abstract).
- Hua R M, Chen P R, Zhang W L, Liu X D, Lu J J, Lin J F, Yao J M, Qi H W, Zhang Z S and Gu S Y. 2003. Metallogenic system related to Mesozoic and Cenozoic granite in South China[J]. *Science in China(Series D)*, 33(4): 335~343(in Chinese).
- Hua R M, Chen P R, Zhang W L, Yao J M, Lin J F, Zhang Z S and Gu S Y. 2005. Metallogenesis related to Mesozoic granite in Nanling region and its tectonic settings[J]. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 291~304(in Chinese with English abstract).
- Institution of Geochemistry, CAS. 1979. *Geochemistry of granite in South China*[M]. Beijing: Sci. Press. 1~142(in Chinese).
- Irwin J J and Roedder E. 1995. Diverse origins of fluid inclusions at Bingham (Utah, USA), Butte (Montana, USA), St-Austell (Cornwall, UK), and Ascension-Island (Mid-Atlantic, UK), indicated by laser microprobe analysis of Cl, K, Br, I, Ba plus Te, U, Ar, and Xe[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59: 295~312.
- Jia D C, Hu R Z, Lu Y, Xie G Q and Qiu X L. 2003. Mantle origin of Na-rich lamprophyre in northeastern Hunan and its tectonic setting [J]. *Science in China(Series D)*, 33(4): 344~352(in Chinese).
- Jin J and Hu R. 1988. Transport and deposition of uranium in hydrothermal ore fluids as exemplified by uranium deposit 302 [J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 7: 221~232.
- Jin J F and Hu R Z. 1990. A preliminary study on the ore-forming materials of the Xiwang uranium deposit[J]. *Mineral Deposits*, 9(2): 141~148(in Chinese with English abstract).
- Kendrick M A, Burgess P, Harrison D and Bjorlykke A. 2005. Noble gas and halogen evidence for the origin of Scandinavian sandstone-hosted Pb-Zn deposits[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 69: 109~129.
- Kendrick M A, Burgess R, Patrick R A D and Turner G. 2001. Fluid inclusion noble gas and halogen evidence on the origin of Cu-porphyry mineralizing fluids[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 65: 2651~2668.
- Lee J, Miller E I and Sutter J F. 1987. Ductile strain and metamorphism in an extensional tectonic setting: A case study from the northern Snake Range, Nevada, USA[J]. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 28: 267~298.
- Leroy J. 1978. The Margnac and Fanay uranium deposits of the La Crouzille district (western Massif Central, France): Geologic and fluid inclusion studies[J]. *Econ. Geol.*, 73: 1611~1634.
- Li X H and McCulloch M T. 1998. Geochemical characteristics of Cretaceous mafic dikes from northern Guangdong, SE China: Age, origin and tectonic significance[A]. In: Flower et al, eds. "Mantle Dynamics and Plate Interaction in East Asia", *Geodynamics* 27[M]. Washington DC: American Geophysical Union. 405~419.
- Li X H, Hu R Z and Rao B. 1997. Geochronology and geochemistry of Cretaceous mafic dykes in northern Guangdong [J]. *Geochimica*, 26(2): 14~31(in Chinese with English abstract).
- Li X H. 2000. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in Southeast China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18: 293~305.
- Li X W, Zhou X M, Li X H, Xie G G and Li J H. 2001. Zircon U-Pb

- dating of pegmatite from Xingzi metamorphic core complex of Lushan Mountain and its geological implication[J]. *Earth Science*, 26:491~495(in Chinese with English abstract).
- Lin W, Faure M, Monié P and Le Breton N. 2000. Tectonics of SE China; New insights from the Lushan massif (Jiangxi province)[J]. *Tectonics*, 19(5): 852~871.
- Lin X K. 1990. Isotopic ages of several uranium deposits in Gang-Hong tectonic belt and uranium sources[J]. *Uranium Geology*, 6(5): 257~264(in Chinese with English abstract).
- Lister G S and Davis G A. 1989. The origin of metamorphic core complexes and detachment faults formed during tertiary continental extension in the northern Colorado River region, USA[J]. *Journal of Structure Geology*, 11: 65~94.
- Liu C S, Ling H F, Xiong X L, Shen W Z, Wang D Z, Huang X L and Wang R C. 1999. An F-rich, Sn-bearing volcanic-intrusive complex in Yanbei, south China[J]. *Econ. Geol.*, 94(3): 325~342.
- Liu Changshi, Chen X M, Wang N C, Zhang W L and Hu H. 2005. Isotopic dating and origin of complexly zoned micas for A-type Nankunshan granite, Guangdong Province[J]. *Geological Review*, 51(2): 193~200(in Chinese with English abstract).
- Liu H F, Tang L and Kao J. 1985. Evolution and structural analysis of the Mesozoic and Cenozoic rift system in Asia[A]. In: *Scientific papers on geology for scientific exchange*[C]. Prepared for the 27<sup>th</sup> International Geological Congress. Beijing: Geol. Pub. House. 57~67(in Chinese).
- Liu H F. 1986. Geodynamic scenario and structural styles of Mesozoic and Cenozoic basins in China[J]. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 70: 377~395.
- Liu S F, Li Z and Zhang J F. 2004. Mesozoic basin evolution and tectonic mechanism in Yanshan, China[J]. *Science in China(Series D)*, 47(Supp.): 24~38(in Chinese).
- Lu H Z, Liu Y M, Wang C L, Xu Y Z and Li H Q. 2003. Mineralization and fluid inclusion study of the Shizhuyuan W-Sn-Bi-Mo-F skarn deposit, Hunan Province, China[J]. *Econ. Geol.*, 98: 955~974.
- Lü Q T, Hou Z Q and Yang Z S. 2004. Underplating in the middle-lower Yangtze valley and its model of dynamic evolution: Evidence from geophysical data[J]. *Science in China(Series D)*, 34(9): 783~794(in Chinese).
- Lu W C. 1990. Isotopic Geological characteristics of No. 570 uranium deposit, Fujian Province[J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 17(1): 85~93(in Chinese with English abstract).
- Luo F S, Shu L S and Wang D Z. 2005. Research progress in metamorphic core complex[J]. *Geological Journal of China Universities*, 11(1): 67~76(in Chinese with English abstract).
- Ma X Y. 1983. Mesozoic depression and extension structures in eastern China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 57(1): 22~31.
- Malavielle J. 1987. Kinematics of compressional and extensional ductile shearing deformation in a metamorphic core complex of the north eastern Basin and Range NW[J]. *Journal of Structure Geology*, 9: 541~554.
- Mao J W and Wang Z L. 2000. Time limit of large-scale mineralization in eastern China and its metallgenic dynamic setting[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 19(40): 403~405(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Hua R M and Li X B. 1999. A preliminary study on the large-scale mineralization and large cluster of mineral deposits[J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 291~299(in Chinese with English abstract).
- Marignac C and Cuney M. 1999. Ore deposits of the French Massif Central: Insight into the metallogenesis of the Variscan belt[J]. *Mineralium Deposita*, 34: 472~504.
- Marty B, Jambon A and Sano Y. 1989. Helium isotope and CO<sub>2</sub> in volcanic gases of Japan[J]. *Chemical Geology*, 76: 25~40.
- Mckee E H, Rytuba J J and Xu K. 1987. Geochronology of Xihuashan composite granitic body and tungster mineralization, Jiangxi Province, South China[J]. *Econ. Geol.*, 82: 218~223.
- Min M, Luo X, and Du G, He B A and Campbell A R. 1999. Mineralogical and geochemical constraints on the genesis of the granite-hosted Huangao uranium deposit, SE China [J]. *Ore Geology Reviews*, 14: 105~127.
- Min M. 1995. Carbonaceous-siliceous-pelitic rock type uranium deposits in southern China: Geologic setting and metallogeny[J]. *Ore Geology Reviews*, 10: 51~64.
- Mo Z S and Ye B D. 1980. Geology of Granite in Nanling Region[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~231(in Chinese).
- Norman D I and Musgrave J. 1994. N<sub>2</sub>-Ar-He compositions in fluid inclusions: indicator of fluid source[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58: 1119~1131.
- Ohmoto H and Rye R O. 1979. Isotopes of sulfur and carbon[A]. In: Barnes H L, ed. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*[M]. Wiley. 509~567.
- Ohmoto H. 1972. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits[J]. *Econ. Geol.*, 67: 551~578.
- Pan Y M and Dong P. 1999. The lower Changjiang (Yangzi/Yangtze River) metallogenic belt, east central China: intrusion- and wall rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits[J]. *Ore Geology Reviews*, 15(4): 177~241.
- Qiu J S, McInnes B I A, Jiang S Y and Hu J. 2005. Geochemistry of the Mikongshan pluton Huichang County and its genetic type[J]. *Geochimica*, 34(1):20~32(in Chinese with English abstract).
- Qiu Y X, Wu Q J, Ji X, Li J C, Zhong H P and Sheng Z Y. 1991. Meso-Cenozoic taphrogeny and dispersion in the continental margin of southeast China and adjacent seas[J]. *Tectonophysics*, 197: 257~269.
- Rich R A, Holland H and Petersen U. 1977. Hydrothermal uranium deposits[M]. Elsevier.
- Ruzicka V. 1993. Vein uranium deposits[J]. *Ore Geology Reviews*, 8: 247~276.
- Shen F, Chen R Z and Li F. 1995. Metallogenic condition and prospecting of Xiangshan uranium orefield, South China[J]. *Uranium Geology*, 11(5): 257~265(in Chinese with English abstract).
- Shu L S, Sun Y, Wang D Z and Faure M. 1998. Mesozoic extension

- structure in Wugongshan, South China[J]. *Science in China (Series D)*, 28(5): 431~438(in Chinese).
- So C S, Zhang D Q and Yun S T. 1998. Alteration-mineralization zoning and fluid inclusions of the high sulfidation epithermal Cu-Au mineralization at Zijinshan, Fujian province, China[J]. *Econ. Geol.*, 93(7): 961~980.
- Stuart F M, Burnard P G., Taylor R P and Turner G. 1995. Resolving mantle and crustal contributions to ancient hydrothermal fluids: He-Ar isotopes in fluid inclusions from Dae Hwa W-Mo mineralisation, South Korea[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59: 4663~4673.
- Sun X M, Norman D I, Sun K, Chen B H and Chen J D. 1999. N<sub>2</sub>-Ar-He systematics and source of ore-forming fluid in Changkeng Au-Ag deposit, central Guangdong[J]. *Science in China(Series D)*, 29(3): 240~246(in Chinese).
- Thomas R J, Henjes-Kunst F and Jacobs J. 1998. Pre-lamprophyre mafic dykes of the cape Meredith complex, west Falkland[J]. *Geological Magazine*, 135: 495~500.
- Turner G and Stuart F M. 1992. Helium/heat ratios and deposition temperatures of sulphides from the ocean floor[J]. *Nature*, 357: 581~583.
- Wang D Z, Shu L S, Faure M and Sheng W Z. 2001. Mesozoic magmatism and granitic dome in the Wugongshan Massif, Jiangxi Province and their genetic relationship to the tectonic events in southeast China [J]. *Tectonophysics*, 339: 259~277.
- Wang J F. 1992. Metallogenic condition and regularities of volcanic-hosted uranium deposits, western Zhejiang[J]. *Uranium Geology*, 8(4): 200~208(in Chinese with English abstract).
- Wang L K and Liu T G. 1987. A study on H, O, S and Pb isotopes of granite-hosted uranium deposits, South China [J]. *Geochemica*, (1): 67~77(in Chinese with English abstract).
- Wang M T, Luo Y, Sun Z F, Zhu J C and Li J H. 1999. Discussion on genesis of uranium deposits in Zhuguang uranium metallogenic region [J]. *Uranium Geology*, 15(5): 279~285(in Chinese with English abstract).
- Wang Q, Zhao Z H, Xiong X L, Li X H and Bao Z W. 2002. Ascertainment of the Shaoxing-Enping alkali rich intrusive rock zone and preliminary discussion on its geodynamic implications[J]. *Geochimica*, 31(5): 433~442(in Chinese with English abstract).
- Wang Y S and Li W J. 1995. Metallogenic regularity, exploration model and prospecting potential of Mesozoic- Cenozoic volcanic type uranium deposits in the eastern of South China[J]. *Uranium Geology*, 11(3): 140~146(in Chinese with English abstract).
- Wernicke B. 1981. Low-angle normal faults in the Basin and Range Province: nappe tectonics in an extending orogen[J]. *Nature*, 291: 645~648.
- Xie G Q, Hu R Z and Jia D C. 2002. Geological and geochemical characteristics and its significance of mafic dikes from Northwest Jiangxi Province[J]. *Geochimica*, 31(4): 329~337(in Chinese with English abstract).
- Xie G Q, Mao J W, Hu R Z, Li R L and Cao J J. 2005. Discussion on some problems of Mesozoic and Cenozoic geodynamics of southeast China[J]. *Geological Review*, 51(6): 613~620(in Chinese with English abstract).
- Xu D Z, Liu L Q and Hu B Q. 1999. Study of pneumato-hydrothermal high temperature uranium metallogenic characteristics and uranium metallogenic ages in Xiaozhuang uranium orefield[J]. *Uranium Geology*, 15(5): 266~270(in Chinese with English abstract).
- Xu D Z. 1990. On the metallogenic factors and conditions of Dongkeng uranium deposit[J]. *Uranium Geology*, 9(1): 70~76(in Chinese with English abstract).
- Xu W X, Xiao M H and Chen M Y. 2000. A study of the isotope geochemistry of the Lenshuikeng Ag-Pb-Zn deposit, Jiangxi Province [J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 20(4): 370~372(in Chinese with English abstract).
- Xu X S, Wang D Z and Tang H F. 2002. Underplating of basalt magma and granite formation[A]. In: Wang D Z and Zhou X M eds. Genesis of granitic volcanic-intrusive complex and crust evolution[C]. Beijing: Sci. Press. 219~229(in Chinese).
- Yan D J, Zhou M F, Song H L, Wang X W and Malpas J. 2003. Origin and tectonic significance of a Mesozoic multi-layer over-thrust within the Yangtze Block (South China)[J]. *Tectonophysics*, 361: 239~254.
- Ye Y, Shimazaki H, Shimizu M and Hu S X. 1998. Tectono-magmatic evolution and metallogenesis along the Northeast Jiangxi deep fault, China[J]. *Resource Geology*, 48(1): 43~50.
- Yin J W, Kim S J, Lee H K and Itaya T. 2002. K-Ar ages of plutonism and mineralization at the Shizhuyuan W-Sn-Bi-Mo deposit, Hunan Province, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20: 151~155.
- Yu D G. 1992. Metallogenic environment and model of uranium in Mesozoic-Cenozoic volcanic belt in southeastern China[J]. *Uranium Geology*, 8(2): 75~82(in Chinese with English abstract).
- Yu H S. 1990. The Pearl River Mouth Basin: A rift basin and its geodynamic relationship with the southeastern Eurasian margin [J]. *Tectonophysics*, 183: 177~186.
- Yu X Q, Shu L S, Yan T Z and Zu F P. 2005. Prototype and Sedimentation of red basins along the Ganhang tectonic belt[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 23(1): 12~20(in Chinese with English abstract).
- Yui T F, Heaman L and Lan C Y. 1996. U-Pb and Sr isotopic studies on granitoids from Taiwan and Chinmen-Lieyu and their tectonic implications[J]. *Tectonophysics*, 263: 61~76.
- Zhang B T, Chen P R and Kong X G. 2003. Geochemical evidence for contribution of ore-forming material to the No. 6710 uranium orefield by the Baimianshi peraluminous granite basement, southern Jiangxi Province[J]. *Geochimica*, 32(3): 201~207(in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q, Li D X, Zhao Y M, Chen J H, Li Z L and Zhang K R. 1992. Alteration and Mineralization Zoning of Zijinshan Cu-Au Deposit[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~79(in Chinese with English abstract).
- Zhang D S. 1994. Metallogenic regularities of carbonaceous-siliceous-

- pelitic type uranium deposits in China[J]. *Uranium Geology*, 10(4): 207~211(in Chinese with English abstract).
- Zhang Q W and Huang H Z. 1982. Mesozoic-Cenozoic tectonic-magmatic evolution history in eastern China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 56(2): 111~122(in Chinese with English abstract).
- Zhang W H Zhang D H and Liu M. 2003. Study on ore-forming fluids and the ore-forming mechanisms of the Yinshan Cu-Pb-Zn-Au-Ag deposits Jiangxi province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 19(2): 242~250 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y Q, Zhao Y and Dong S W. 2004. Evolution stages of early Cretaceous rift basins in eastern China and its adjacent region[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 123~133(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z H. 194. *Uranium Geochemistry*[M]. Beijing: Publishing House of Atomic Energy. 1~403
- Zhao J H, Hu R Z and Liu S. 2004. Geochemistry, petrogenesis, and tectonic significance of Mesozoic mafic dikes, Fujian province, South-eastern China[J]. *International Geology Review*, 46: 542~557.
- Zhou W X. 1982. Granite-hosted uranium deposits and its genesis[A]. In: Du L T ed. *Collected Papers of Granite-hosted Uranium Deposits* [C]. Beijing: Publishing House of Atomic Energy. 365~404 (in Chinese).
- Zhou X M, and Li W X. 2000. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas[J]. *Tectonophysics*, 326: 269~287.
- 北京铀矿地质研究所. 1982. 碳硅泥岩型铀矿床文集[M]. 北京: 原子能出版社. 1~208.
- 陈培荣. 2004. 华南东部中生代岩浆作用的动力学背景及其与铀成矿关系. *铀矿地质*, 20(5): 266~270.
- 陈跃辉, 陈祖伊, 蔡煜琦, 施祖海, 封全宏, 付锦. 1996. 华东南中生代伸展构造类型和主要特征[J]. *铀矿地质*, 12(5): 257~264.
- 陈跃辉, 陈祖伊, 蔡煜琦, 施祖海, 封全宏, 付锦. 1997. 华东南中生代伸展构造时空演化与铀矿化时空分布[J]. *铀矿地质*, 13(3): 129~146.
- 陈肇博. 1982. 华东南中生代火山岩中的铀矿床[J]. *地质学报*, 56(3): 235~242.
- 陈肇博. 1985. 显生宙脉型铀矿床成矿理论的几个基本问题[J]. *铀矿地质*, 1(1): 1~15.
- 陈祖伊, 张邻素. 1983. 华南断块运动-陆相红层发育期与区域铀矿化[J]. *地质学报*, (3): 294~303.
- 陈一峰. 1994. 庐枞地区铀成矿规律探讨[J]. *铀矿地质*, 10(4): 193~202.
- 邓平, 舒良树, 谭正中. 2003. 诸广-贵东大型铀矿聚集区富铀成矿地质条件[J]. *地质论评*, 49(5): 486~494.
- 杜乐天. 1964. “浅成低温热液铀矿床的概念及有关问题”一文的简短评介[J]. *铀矿地质*, (2): 10~11.
- 杜乐天. 1982. 花岗岩型铀矿文集[M]. 北京: 原子能出版社. 1~357.
- 杜乐天, 王玉民. 1984. 华南花岗岩型、火山岩型、碳硅泥岩型、砂岩型铀成矿机理的统一性[J]. *放射性地质*, (3): 1~10.
- 范洪海, 王德滋, 沈渭洲, 刘昌实, 汪相, 凌洪飞. 2005. 江西相山火山-侵入杂岩及中基性脉岩形成时代研究[J]. *地质论评*, 51(1): 86~91.
- 范蔚茗, 王岳军, 郭锋, 彭头平. 2003. 湘赣地区中生代镁铁质岩浆作用与岩石圈伸展[J]. *地学前缘*, 10(3): 159~179.
- 郭葆墀, 张待时, 李胜祥, 朱杰辰. 1995. 保源地区碳硅泥岩铀矿床成因[J]. *铀矿地质*, 11(5): 266~272.
- 贾大成, 胡瑞忠, 卢焱, 谢桂青, 丘学林. 2003. 湘东北钠质煌斑岩地幔源区特征及成岩构造环境[J]. *中国科学(D辑)*, 33(4): 344~352.
- 金景福, 胡瑞忠. 1990. 希望铀矿床成矿物质来源初探[J]. *矿床地质*, 9(2): 141~148.
- 胡恭任, 张邦桐. 1998. 相山火山塌陷盆地基岩变质岩铀的地球化学研究[J]. *铀矿地质*, 14(1): 1~6.
- 胡瑞忠. 1989. XW 铀矿床成矿机理[J]. *成都地质学院学报*, 16(3): 1~9.
- 胡瑞忠. 1990. 花岗岩型铀矿床一种可能的成矿模式[J]. *科学通报*, 35(7): 526~528.
- 胡瑞忠, 金景福. 1990a. 贵东岩体中煌斑岩的成因[J]. *矿物岩石*, 10(4): 1~7.
- 胡瑞忠, 金景福. 1990b. 上升热液浸取成矿过程中铀的迁移沉淀机制探讨[J]. *地质论评*, 36(4): 317~325
- 胡瑞忠. 1991.  $\Sigma\text{CO}_2$  在华南热液铀矿床形成中的作用及其来源研究[R]. 中国科学院地球化学研究所博士后流动站. 1~96.
- 胡瑞忠, 李朝阳, 倪师军, 于津生. 1993. 华南花岗岩型铀矿床成矿热液中  $\Sigma\text{CO}_2$  来源研究[J]. *中国科学(B辑)*, 23(2): 189~196.
- 胡瑞忠. 1994. 花岗岩型铀矿床成因讨论——以华南为例[J]. *地球科学进展*, 9(2): 41~46.
- 胡瑞忠, 毕献武, 苏文超, 彭建堂, 李朝阳. 2004. 华南白垩-第三纪地壳拉张与铀成矿的关系[J]. *地学前缘*, 11(1): 153~160.
- 华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. *矿床地质*, 18(4): 300~307.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 刘晓东, 陆建军, 林锦富, 姚军明, 戚华文, 张展适, 顾晟彦. 2003. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统[J]. *中国科学(D辑)*, 33(4): 335~343.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 姚军明, 林锦富, 张展适, 顾晟彦. 2005. 南岭与中生代花岗岩类有关的成矿作用及其大地构造背景[J]. *高校地质学报*, 11(3): 291~304.
- 李献华, 胡瑞忠, 饶冰. 1997. 粤北白垩纪基性脉岩的年代学和地球化学[J]. *地球化学*, 26(2): 14~31.
- 李显武, 周新民, 李献华, 谢国刚, 李均辉. 2001. 庐山星子变质核杂岩中伟晶岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *地球科学*, 26: 491~495.
- 林祥铿. 1990. 赣杭构造带若干铀矿床的同位素年龄研究及铀源初探[J]. *铀矿地质*, 6(5): 257~264.
- 刘昌实, 陈小明, 王汝成, 张文兰, 胡欢. 2005. 广东南昆山 A 型花岗岩定年和环带云母研究[J]. *地质论评*, 51(2): 193~200.
- 楼法生, 舒良树, 王德滋. 2005. 变质核杂岩研究进展[J]. *高校地质*

- 学报, 11(1): 67~76.
- 卢武长. 1990. 福建 570 铀矿床同位素地质特征[J]. 成都地质学院学报, 17(1): 85~93.
- 吕庆田, 侯增谦, 杨竹森, 史大年. 2004. 长江中下游地区的底侵作用及动力学演化模式: 来自地球物理资料的约束[J]. 中国科学(D辑), 34(9): 783~794.
- 马杏垣. 1983. 中国东部中生代裂陷作用和伸展构造[J]. 地质学报, 57(1): 22~31.
- 毛景文, 华仁民, 李晓波. 1999. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区[J]. 矿床地质, 18(4): 291~299.
- 毛景文, 王志良. 2000. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 19(4): 403~405.
- 莫柱荪, 叶伯丹. 1980. 南岭花岗岩地质学[M]. 北京: 地质出版社. 1~231.
- 南京大学地质系. 1981. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系[M]. 北京: 科学出版社. 1~395.
- 邱检生, McInnes B I A, 蒋少涌, 胡建. 2005. 江西会昌密坑山岩体的地球化学及其成因类型的新认识[J]. 地球化学, 34(1): 20~32.
- 沈丰, 陈然志, 李方. 1995. 华南相山铀矿田成矿条件及发展前景[J]. 铀矿地质, 11(5): 257~265.
- 舒良树, 孙岩, 王德滋, Faure M. 1998. 华南武功山中生代伸展构造[J]. 中国科学(D辑), 28(5): 431~438.
- 孙晓明, Norman D I, 孙凯, 陈炳辉, 陈敬德. 1999. 粤中坑金银矿成矿流体 N<sub>2</sub>-Ar-He 示踪体系及来源[J]. 中国科学(D辑), 29(3): 240~246.
- 王剑锋. 1992. 浙江西北部火山岩型铀矿床成矿条件及成矿规律[J]. 铀矿地质, 8(4): 200~208.
- 王联魁, 刘铁庚. 1987. 华南花岗岩铀矿 H、O、S、Pb 同位素研究[J]. 地球化学, (1): 67~77.
- 王明太, 罗毅, 孙志富, 朱杰辰, 李建红. 1999. 诸广铀矿区矿床成因探讨[J]. 铀矿地质, 15(5): 279~285.
- 王强, 赵振华, 熊小林, 李献华, 包志伟. 2002. 华南绍兴-恩平富碱侵入岩带的厘定及其动力学意义初探[J]. 地球化学, 31(5): 433~442.
- 王玉生, 李文君. 1995. 华南东部中生代火山岩型铀矿床成矿规律、勘查模式及找矿前景[J]. 铀矿地质, 11(3): 140~146.
- 谢桂青, 胡瑞忠, 贾大成. 2002. 赣西北地区基性岩脉的地质地球化学特征及其意义[J]. 地球化学, 31(4): 329~337.
- 谢桂青, 毛景文, 胡瑞忠, 李瑞玲, 曹劲建. 2005. 中国东南部中生代地球动力学背景若干问题的探讨[J]. 地质论评, 51(6): 613~620.
- 徐达忠. 1990. 董坑铀矿床成矿要素及条件的研究[J]. 矿床地质, 9(1): 70~76.
- 徐达忠, 刘林清, 胡宝群. 1999. 下庄矿田气热高温铀成矿特征及年龄研究[J]. 铀矿地质, 15(5): 266~270.
- 徐文焯, 肖孟华, 陈民扬. 2000. 江西冷水坑 Ag-Pb-Zn 矿床同位素地球化学研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 20(4): 370~372.
- 徐夕生, 王德滋, 唐红峰. 2002. 玄武岩浆的底侵作用与花岗岩的形成[A]. 见: 王德滋, 周新民. 中国东南部中生代花岗质火山-侵入杂岩成因与地壳演化[C]. 北京: 科学出版社. 219~229.
- 余达澄. 1992. 中国东南部中生代火山岩浆带中轴的成矿环境及成矿模式[J]. 铀矿地质, 8(2): 75~82.
- 余心起, 舒良树, 颜铁增, 祖辅平. 2005. 赣杭构造带红层盆地原型及其沉积作用[J]. 沉积学报, 23(1): 12~20.
- 张待时. 1994. 中国碳硅泥岩型铀矿床成矿规律探讨[J]. 铀矿地质, 10(4): 207~211.
- 张德全, 李大新, 赵一鸣, 陈景和, 李子林, 张克尧. 1992. 紫金山铜金矿床蚀变和矿化分带[M]. 北京: 地质出版社. 1~79.
- 张勤文, 黄怀曾. 1982. 中国东部中-新生代构造-岩浆活化史[J]. 地质学报, 56(2): 111~122.
- 张岳桥, 赵越, 董树文. 2004. 中国东部及邻区早白垩世裂陷盆地演化阶段[J]. 地学前缘, 11(3): 123~133.
- 张祖还. 1984. 铀地球化学[M]. 北京: 原子能出版社. 1~403.
- 章邦桐, 陈培荣, 孔兴功. 2003. 赣南白面石过铝花岗岩基为 6710 铀矿田提供成矿物质的地球化学佐证[J]. 地球化学, 32(3): 201~207.
- 中国科学院地球化学研究所. 1979. 华南花岗岩类地球化学及其成矿作用[M]. 北京: 科学出版社. 1~421.
- 周维勋. 1982. 花岗岩型铀矿床及其成因[A]. 见: 杜乐天. 花岗岩型铀矿文集[C]. 北京: 原子能出版社. 365~404.