

# 浙江省衢州地区新路火山岩盆地西段铀成矿模式\*

韩效忠<sup>1,2</sup>, 刘蓉蓉<sup>1</sup>, 刘权<sup>1</sup>, 王明太<sup>1</sup>, 姚善丛<sup>1</sup>, 惠小朝<sup>2</sup>

(1 核工业北京地质研究院, 北京 100029; 2 中国地质大学, 北京 100083)

**摘要** 文章在对研究区内白鹤岩、大桥坞和杨梅湾重点矿床成矿特征、控矿规律详细分析的基础上, 指出该区铀成矿主要受构造、热液蚀变和侵入岩体的联合控制。依据主要控矿因素, 建立了该区3阶段铀成矿模式: ①火山喷发和岩浆侵入阶段; ②大规模铀成矿阶段; ③后期剥蚀矿体改造阶段。指出火山期后的岩浆侵位为铀成矿准备了含矿热液流体, NE、NNE向深大断裂为主要导矿构造, NW向次级断裂为主要的储矿构造, 岩浆侵位和不同规模的断裂体系构成了含矿热液形成、运移和富集的完整过程。本区铀成矿在时间上可划分为2个阶段, 早期为125~115 Ma, 晚期为90.9~70.2 Ma, 两期铀成矿与两期岩浆侵位相对应, 在空间上呈“三层楼式”分布: 即浅部为与砾岩层和隐爆有关的“白鹤岩式”铀矿化, 中部为与赤铁矿化、萤石化、金属硫化物有关的“大桥坞式”铀矿化, 深部为与钠交代、硅化有关的“杨梅湾式”铀矿化。在此基础上, 提出矿区外围找矿重点区域为: 距NE、NNE向深大断裂出露线2 km范围内上盘, 且NW向次级断层和水云母化蚀变强烈发育的地区; 已知矿区深部找矿层位为: 大桥坞矿床深部的“杨梅湾式”铀矿化、白鹤岩矿床深部的“大桥坞式”和“杨梅湾式”铀矿化。

**关键词** 地质学; 火山岩; 铀成矿模式; 浙江省衢州

中图分类号: P619.14

文献标志码: A

## Uranium metallogenic model for west segment of Xinlu volcanic basin in Quzhou area, Zhejiang Province

HAN XiaoZhong<sup>1,2</sup>, LIU RongRong<sup>1</sup>, LIU Quan<sup>1</sup>, WANG MingTai<sup>1</sup>, YAO ShanCong<sup>1</sup> and HUI XiaoChao<sup>2</sup>

(1 Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China; 2 China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

### Abstract

Based on a detailed analysis of metallogenic characteristics and regularity of three important deposits, i. e., Baiheyuan, Daqiaowu and Yangmeiwan, this paper holds that the uranium metallogeny is controlled jointly by structure, hydrothermal alteration and intrusive rock in the study area. A three stage model for uranium metallogeny has been constructed according to the following main ore-controlling factors: ① the first stage-volcanic eruption and magma intrusion, ② the second stage-uranium metallogeny, and ③ the third stage-denudation and ore body reformation. It is pointed out that the magmatic intrusion supplied metallogenic hydrothermal fluids, the NE and NNE-striking deep faults constituted the principal channels for hydrothermal fluids whereas the NW-trending secondary faults provided room for uranium precipitation. All of these factors constituted an integrated metallogenic system comprising the formation, movement and enrichment of ore-bearing hydrothermal fluids. There existed two uranium metallogenic stages corresponding to the magmatic intrusion, i. e., 125~115 Ma and 90.9~70.2 Ma. The 'three-layer' uranium metallogenic model in space is put forward in this paper: the upper part is the Baiheyuan stratified ore body associated with conglomerate, the middle part is the Daqiaowu veinlike ore body related to hematite, fluorite and sulfide, and the lower part is the Yangmeiwan ore body having to do

\* 本文为工业与信息部国防科学局核能开发三期资助成果

第一作者简介 韩效忠, 男, 1973年生, 在读博士研究生, 高级工程师, 主要从事构造地质学和铀矿地质工作。

收稿日期 2009-06-23; 改回日期 2009-12-18。李岩编辑。

with alkali-metasomatism and silicification. On such a basis, the favorable ore-prospecting places in the periphery of the ore district are delineated, which are located on the hanging wall about 2 km from the exposed lines of the NE and NNE-striking deep faults, with well-developed NWW-striking secondary faults and intense hydromicazation. The deep prospecting horizons for uranium metallogeny in the ore district are ' Yangmeiwan ' uranium mineralization below the Daqiaowu ore deposit and the ' Daqiaowu ', ' Yangmeiwan ' style uranium mineralizations below the Baiheyuan ore deposit.

**Key words :** geology , volcanic rock , uranium metallogenic model , Quzhou City in Zhejiang Province

随着科研和勘查工作的深入,地表和近地表的矿床和矿化点已基本被发现殆尽,地表找矿难度随之加大。据不完全统计,中国在 1965 年前找到的 378 个矿床中,隐伏矿床只有 28 个,而在之后找到的 98 个矿床中,隐伏矿床达 49 个(刘家远等 2007)。从上述数据可以明显看到,随着时间的推移,隐伏矿床在占已发现矿床数中的比例明显增高。这一方面反映了勘探技术在不断地提高,同时也反映了出露地表的矿床数

量在显著减少。因此,寻找深部隐伏矿床已成为当今矿床地质学研究的主要方向之一。实践证明,通过成矿模式寻找隐伏矿床是一条行之有效的途径。

新路火山岩盆地西段目前已发现大桥坞矿床(671)、白鹤岩矿床(670)、杨梅湾矿床(621)和一系列铀矿(化)点,其具体位置见图 1。

上述 3 个已知矿床近地表矿体或已被开采殆尽(白鹤岩

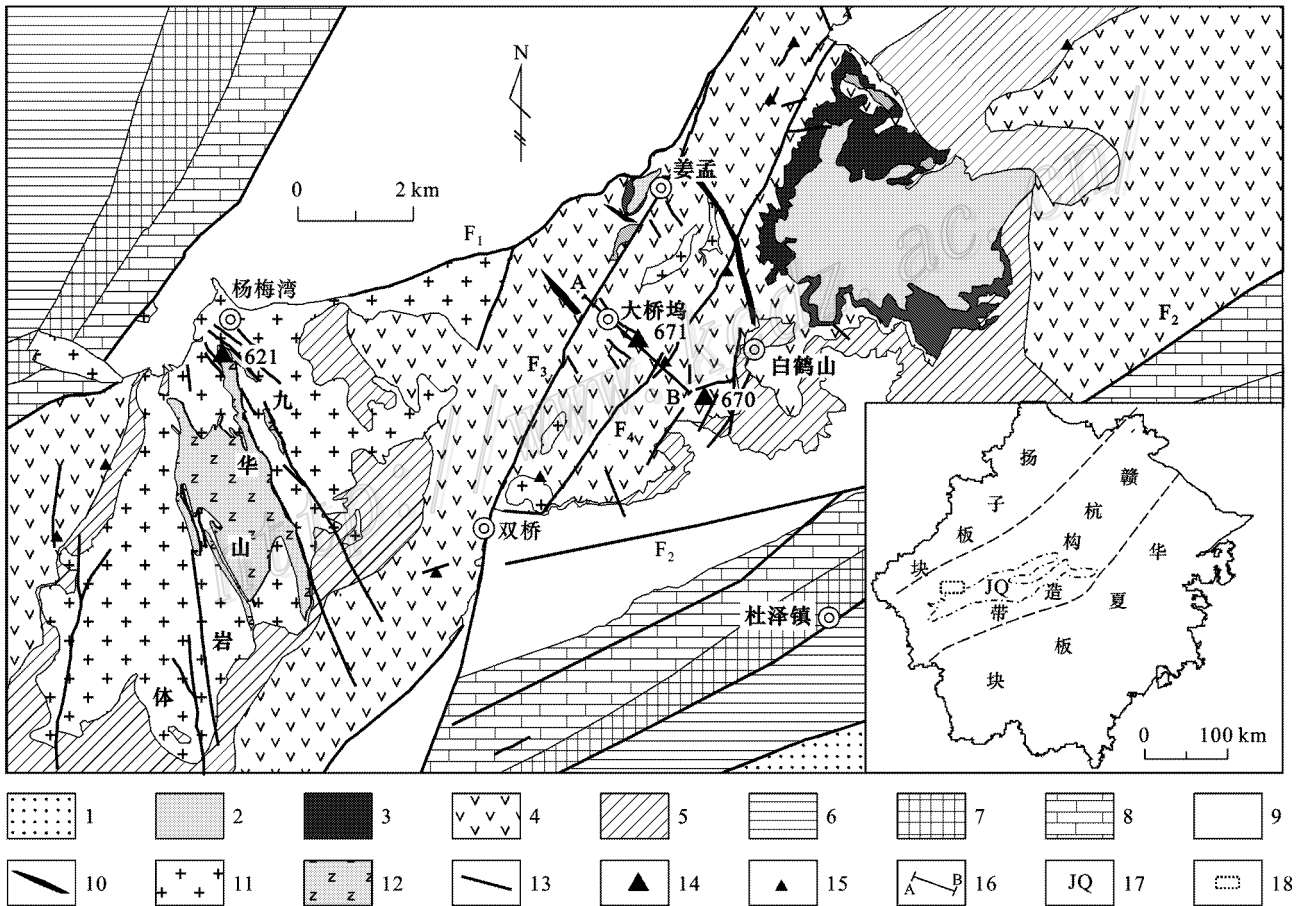


图 1 衢州新路盆地西段铀矿地质图

1—上白垩统;2—下白垩统寿昌组上段;3—下白垩统寿昌组下段;4—下白垩统黄尖组;5—下白垩统劳村组;6—奥陶系;7—寒武系;8—震旦系;9—前震旦系;10—脉岩;11—花岗斑岩;12—钠交代蚀变;13—断层;14—铀矿床;15—铀矿点;16—图 2 电磁测量剖面位置;17—金衢盆地;18—研究区范围;F<sub>1</sub>—球川-萧山深断裂;F<sub>2</sub>—常山-漓渚大断裂;F<sub>3</sub>—双桥断裂;F<sub>4</sub>—东湾断裂

Fig. 1 Geological map of uranium deposits in the west segment of Xinlu basin, Quzhou area

1—Upper Cretaceous;2—Upper Member of Lower Cretaceous Shouchang Formation;3—Lower Member of Lower Cretaceous Shouchang Formation;4—Lower Cretaceous Huangjian Formation;5—Lower Cretaceous Laocun Formation;6—Ordovician;7—Cambrian;8—Sinian;9—Pre-Sinian;10—Dike;11—Granite-porphry;12—Albite metasomatic alteration;13—Fault;14—Uranium deposit;15—Uranium ore spot;16—Location of electromagnetic surveying profile(Fig. 2);17—Jinqu basin;18—Working area;F<sub>1</sub>—Qiuchaun-Xiaoshan deep fault;

F<sub>2</sub>—Changshan-Lizhu large fault;F<sub>3</sub>—Shuangqiao fault;F<sub>4</sub>—Dongwan fault

矿床)或已基本探明储量(大桥坞矿床和杨梅湾矿床)。除地表少数几个位于九华山岩体西侧内外接触带上的矿点,通过近地表深入工作可能发展为矿床之外,其他一些矿点通过近地表工作突破难度很大。就目前掌握的铀矿储量,难以满足矿山日益增长的需要,向深部找矿的需求日益迫切。近两年,核工业 269 队对大桥坞矿床进行了钻探找矿工作,其目的是在探索距地表约 1 000 m 内的深部矿体。目前已钻探施工的最大垂直孔深达 810 m,除发现少量矿化信息外,未能发现规模矿体。为此有人认为该区深部可能并不发育大规模的铀矿体,深部找矿信心有所动摇。基于上述原因,本文拟通过对已知矿床控矿条件的深入分析,建立研究区深部成矿模式,以期达到增强该区深部找矿的信心,为该区深部找矿的突破提供一定的借鉴作用。

## 1 地质背景

研究区位于浙江省衢州市境内,地质上称之为新路火山岩盆地西段。该区北接前古生代褶皱带,南临白垩纪红盆(金衢盆地)。在大地构造位置上处在扬子板块东南边缘的赣杭构造带中,研究区主体为浙江西部的中生代火山断陷喷发带(图 1)。

火山盆地基底为元古界变质岩,盆内发育地层为下白垩统劳村组( $K_1l$ )、黄尖组( $K_1h$ )、寿昌组( $K_1s$ ),产铀地层主要为黄尖组。劳村组岩性为紫红色凝灰质砂岩、砂砾岩、浅灰色硅质细砂岩。黄尖组根据火山喷发旋回,分为 2 段。下段主要岩性为巨厚层状流纹质含砾岩屑凝灰岩、流纹质晶屑熔结凝灰岩、流纹质含砾熔结凝灰岩,是区内重要的含矿层位;上段岩性主要为灰绿色沉凝灰岩、凝灰质砂岩、砂砾岩等。寿昌组:下部为杂色粉砂岩、页岩,上部为灰紫色厚层状流纹质凝灰岩、流纹斑岩。

区内断裂构造发育,矿集区夹持于 NE 向的球川-萧山( $F_1$ )和常山-漓渚( $F_2$ )区域性深大断裂之间。矿区 NNE 向切层断裂发育,主要有双桥断裂( $F_3$ )及东湾断裂( $F_4$ ),是该区切穿火山岩盖层的控岩、控矿断裂构造,控制了该区火山喷发、沉积及次火山岩的侵入活动,对区内地层展布及铀矿化的形成均有一定的控制作用,是区内主要导矿构造。NW 向断裂构造极为发育,一般规模较小,成带产出,多受 NE、NNE 向大断裂限制,矿体主要位于这些 NW 向断裂中,是区内主要的储矿构造。

本区岩浆活动较为强烈,以大规模火山喷发和火山期后岩浆侵入活动为主(周肖华等,2004),致使区内火山构造发育,各类小型火山机构和次火山岩体(脉)广布,形成了该区厚厚的火山碎屑岩和广泛发育的次火山岩(脉)体,为火山岩型铀矿床的发育创造了条件。

铀矿化主要受断裂、蚀变、花岗斑岩和花岗岩内外接触带联合控制。NE 向断裂贯穿全区,规模大,活动历史长,属切层深断裂,构成了成矿热液向上运移的通道,主要铀矿体一般

距这些断层较近,但这些断层内并不含矿。铀矿体主要位于与 NE 向深大断裂相连通的 NW 向次级断裂中,其机理下文将有详细论述。与成矿有关的蚀变主要为水云母化、赤铁矿化、萤石化、金属硫化物化和钠交代蚀变。其中水云母化为远矿围岩蚀变,其他蚀变则为近矿围岩蚀变。一般来讲,赤铁矿化的铀矿体品位较低,当其叠加了萤石化、金属硫化物化时,铀矿体品位显著加富。铀矿体形态除白鹤岩矿床部分发育与砾岩有关的层状矿体之外,其他矿体为沿断裂发育的脉状矿体。铀矿类型以沥青铀矿物为主,见少量的钛铀矿。

## 2 前人对该区铀成矿模式研究进展

前人通过对单个大桥坞矿床和白鹤岩矿床成矿特征的深入研究,提出如下一些该区铀矿床的成因或成矿模式。

(1)余达淦(1992)曾就赣杭构造带火山岩型铀矿床成矿提出 3 种模式,即陆相热水铀矿成矿模式、多重斑岩铀矿成矿模式和上升热柱铀成矿模式。

(2)周家志(1992)从岩石学、岩石化学、同位素等方面介绍了白鹤岩矿床成矿角砾岩的成岩特点及物质来源,阐述了与其有关的铀矿床的主要地质特征和矿床成因。认为该矿床与火山侵入-隐爆角砾岩有直接的成因联系。

(3)陈爱群(1999)认为大桥坞斑岩型铀矿床产于中生代蒙山破火山口中,石英斑岩体的内外接触带及其隐爆角砾岩筒中。铀成矿主要与斑岩体的“双层结构”有关,即“双层结构”成矿模式。浅部石英斑岩为含矿岩体,深部花岗斑岩为矿源岩体。矿化以裂隙型、角砾型为主,矿体的形态主要呈细脉状、浸染状,与围岩界线不清。成岩物质来源于壳幔混源的富铀钙碱性岩浆。成矿物质主要来源于该深部富铀花岗岩浆冷结晶分异产生的富铀岩浆期后热液。其成矿过程主要是富铀岩浆期后热液流体沿断裂构造系统上升、运移,在浅部石英斑岩体内外接触带发生隐爆导致成岩成矿。早期铀-赤铁矿化阶段形成贫铀矿化,晚期铀-金属硫化物矿化阶段,形成富铀矿化,两期叠加作用致富。

(4)杨建明等(2003)通过对浙赣各类火山岩型铀矿床的地质特征、同位素组成、成矿物质来源以及成矿的物理化学条件分析,提出以次火山岩体为先导,热液柱(体)为主导所控制的地下水-火山岩成矿体系,是该区火山岩型铀矿成矿的主要模式。

上述成矿模式或成因研究对在研究区内的成矿建模进行了非常有益的探索,前人基本上达成如下一些共识:①该区铀矿与花岗斑岩体有一定的成因联系,其内、外接触带是成矿的重要场所;②铀成矿与隐爆角砾岩筒有关;③成矿热液来源于深部,成矿与热液蚀变关系密切,矿床类型为中低温热液型铀矿。

由于受当时工作程度的限制,前人对研究区的成矿模式或矿床成因还存在一些不足之处:①未能很好地回答不同级别的构造对成矿就位控制作用、成矿热液与构造的关系;②

对花岗斑岩体内外接触带控矿的成因机理论述不够明确;③更重要的是没有对研究区3个主要矿床的产出位置与区域构造发展演化的关系进行深入探讨,制约了对该区成矿系列的研究深度;④未能对深部成矿的前景和类型有一明确的论述,因而部分地制约了对该区深部找矿的指导作用。

### 3 成矿模式

#### 3.1 成矿建模的基本地质依据

##### 3.1.1 大桥坞矿床

(1) 已知矿体严格受NW向张性断裂的控制,矿体呈脉状产出,主矿体形态、产状与断裂产状完全一致,矿体多位于断裂膨胀、拐弯、复合部位,但非所有构造裂隙中均含有矿体。

(2) 赤铁矿化是该区早期重要的成矿阶段产物,在发育赤铁矿化的区段,均有不同程度的铀矿化,矿体相对较贫。其分布区段断裂构造相对发育,但其发育宽度多大于断裂构造,即具沿裂隙发育区向两侧扩散的现象。

(3) 矿化与凝灰岩和花岗斑岩的接触界面关系较为密切。在钻孔中见到有些矿体位于接触面一侧的凝灰岩或花岗斑岩中,有些矿体在界面两侧均有发育,但这些矿体均距斑岩体侵入部位不远,接触面内外带控矿的特点非常明显。现有钻探成果表明,不发育花岗斑岩体的钻孔中,一般无矿化显示,指示斑岩体对成矿具有重要的控制作用,是大桥坞地区铀矿找矿的重要标志之一,其机理下文将有详细的论述。

(4) 大桥坞矿床下部发育肉红色花岗斑岩,镜下表现为钠长石化、碳酸盐化,并具有一定的水云母化(照片A)。在钻孔ZK12-35中见到肉红色花岗斑岩具强烈的水云母化(照片B)表明该岩体也经受了强烈的热液改造,岩石蚀变与621矿床非常相似,指示在深部具有钠交代型铀成矿的可能。此外,电磁测量发现,在该区深部存在一较大的高阻体,根据已知岩石物性参数,该高阻体为花岗斑岩(图2),由图2可知,在大桥坞深部发育一个较大的花岗斑岩体,是钻孔中见到的小规模花岗斑岩体(脉)的根部岩体。如果随着剥蚀程度的进一步加大,根部斑岩体出露地表,则会形成与621矿区相似的地质环境。

(5) 矿化岩石具明显的隐爆角砾岩特征(照片C),岩石角砾可相互拼接。此外在该段岩体中发现三相流体包裹体(照片D)指示在该处岩石经受了强烈的气爆作用,与670矿床成矿特征有一定的相似性。

(6) 本项目对大桥坞矿区ZK20-4中的3块岩石样品(其中一块含矿)进行了流体包裹体测温和盐度分析。含矿段三相流体包裹体均一温度为317~420℃,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为39.76%~49.68%;非矿段不存在三相流体包裹体,均一温度范围为120~278℃,平均174℃,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 最高为7.17%,显示成矿时流体温度、盐度均较高。流体包裹体显微激光拉曼分析结果表明,在区内矿石及赋矿围岩中的各类包裹体气相成分中 $\text{CO}_2$ 占明显优势,流体包裹体气体成分总

体上以 $\text{CO}_2$ 为主,同时含有 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{N}_2$ 等挥发分,反映出成矿流体具有来自深部的特征(邱林飞等,2009)。

##### 3.1.2 白鹤岩矿床

(1) 白鹤岩矿床已知矿段围岩均为火山凝灰岩,目前已发现的矿体与透镜状的角砾岩相间产出,就位于角砾岩体尖灭再现的两端,单个矿体也呈透镜状,组合成为似层状矿脉,产状与角砾岩透镜体产状相似,在地表倾角较陡,向下逐渐变缓(图3)。

(2) 角砾岩砾石成分以凝灰岩为主,占70%以上,其次为花岗斑岩、砂岩、干枚岩、板岩、石英岩、页岩等,分选性差,角砾主体呈棱角状、次棱角状,少部分为次圆状,胶结物呈碎屑状结构,由细小的长石、石英晶体碎片、浆屑等组成。角砾岩与围岩界线往往呈过渡关系,少数情况下,也有突变关系。其旁侧或两端尖灭部位往往发育有震碎围岩角砾岩或震裂围岩。这些现象说明该角砾岩可能为隐爆角砾岩。

部分学者认为该角砾岩可能为火山间歇期由沉积作用所致,其理由是部分角砾具较高的磨圆度,角砾成分复杂,但难以解释部分角砾可相互拼接的现象。

笔者认为隐爆角砾沿构造裂隙贯入可以较为合理地解释角砾岩的成因。即先期隐爆角砾岩沿构造贯入,与围岩相互作用造成一定的磨圆度,晚期气爆造成角砾岩尖灭部位的围岩震裂,因为该部位为应力集中区,在外界应力作用下最先破裂,形成这些部位可相互拼接的角砾岩。据此认为该区隐爆角砾岩是存在的。

(3) 矿体受发育于火山凝灰岩中的NW向构造裂隙控制(照片E),矿体产状与裂隙的产状相同,裂隙尖灭矿体随之消失,在裂隙分叉或重合部位矿体也出现分叉或膨胀。

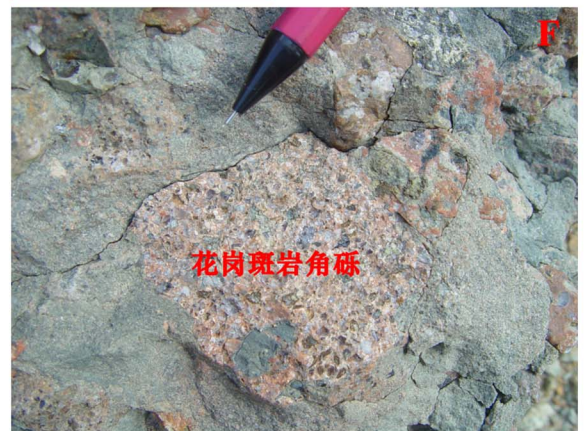
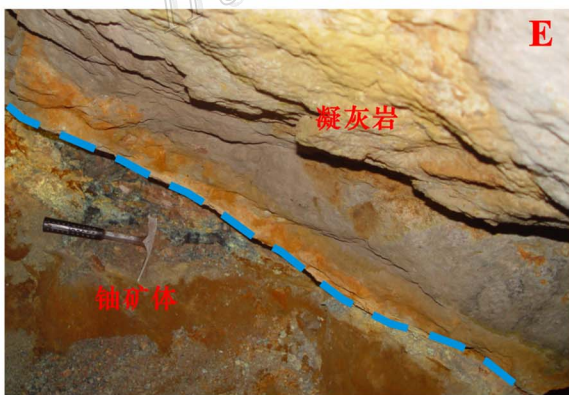
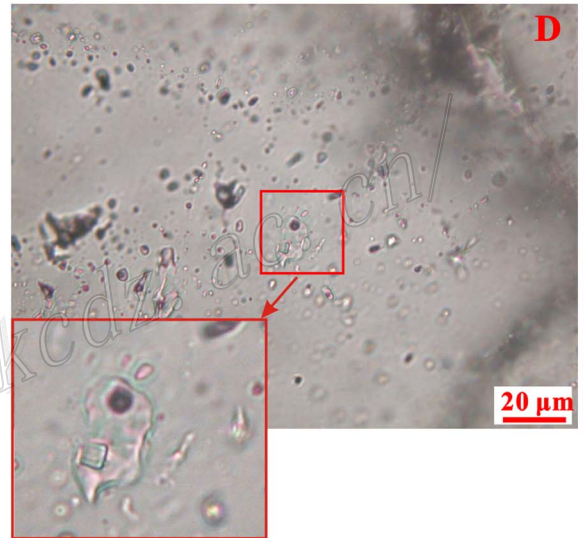
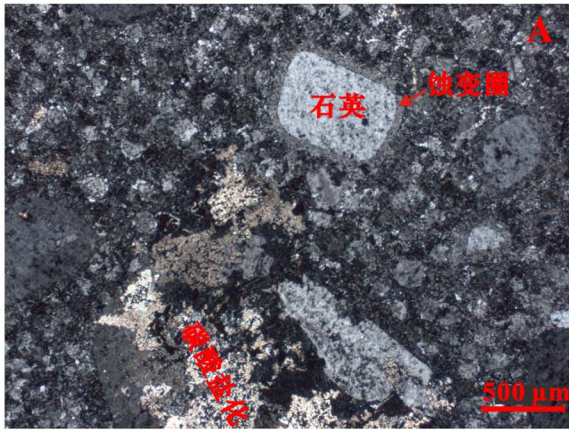
(4) 虽然在该矿区未见花岗斑岩体的出露,但在角砾岩层中发育大量的肉红色花岗斑岩角砾(照片F),说明在矿床下部可能存在次火山岩体的侵入。即存在类似于671矿床的斑岩体界面控矿的基本地质条件。

(5) 成矿阶段方解石氧同位素分析结果显示,早期成矿阶段 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -1.98\text{‰}$ ,以大气降水为主,晚成矿阶段 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 6.99\text{‰}$ ,为岩浆水(周家志,1992)。成矿期溶液具混合特征。

##### 3.1.3 杨梅湾地区

(1) 该区断裂构造发育,具多期活动特点,构造线方向以NNW向为主,其次为近NS向及NNE向。断裂对热液蚀变的控制作用非常明显,区内规模较大的钠蚀变带均发育在断裂两侧(图1)。根据已知成矿特征发现,在本区无钠交代蚀变的区域内无铀矿化显示,是本区成矿的远矿围岩蚀变,近矿围岩蚀变为硅化破碎带,该带宽约1~2m,矿体形态和产状受其严格控制(图4)。

(2) 该区围岩蚀变分带性非常明显。在空间上,从矿体两侧向外发育强钠交代→弱钠交代→绿泥石化带;在时间上,早期为绿泥石化(又称水云母化),依次为钠交代和硅化破碎带。这一规律成为本区铀矿找矿的重要标志。



照片 A. 肉红色花岗斑岩中的钾长石碳酸盐化及石英蚀变圈; B. 强烈水云母化的肉红色花岗斑岩; C. 大桥坞矿床中含矿的隐爆角砾岩; D. 大桥坞矿床中的三相流体包裹体; E. 670 矿床中充填于 NW 向断层中的矿体; F. 白鹤岩矿床中的花岗斑岩角砾

Photo A. Carbonatization of potassic and quartz alteration circle in red granite porphyry; B. Carbonatization of potassic and quartz alteration circle in red granite porphyry; C. Ore bearing cryptoexplosive breccia in No. 671 ore body; D. Three phase fluid inclusion in the Daqiaowu ore deposit; E. Uranium ore body filling NW-striking fault in No. 670 deposit; F. Granite porphyry breccia in No. 670 deposit

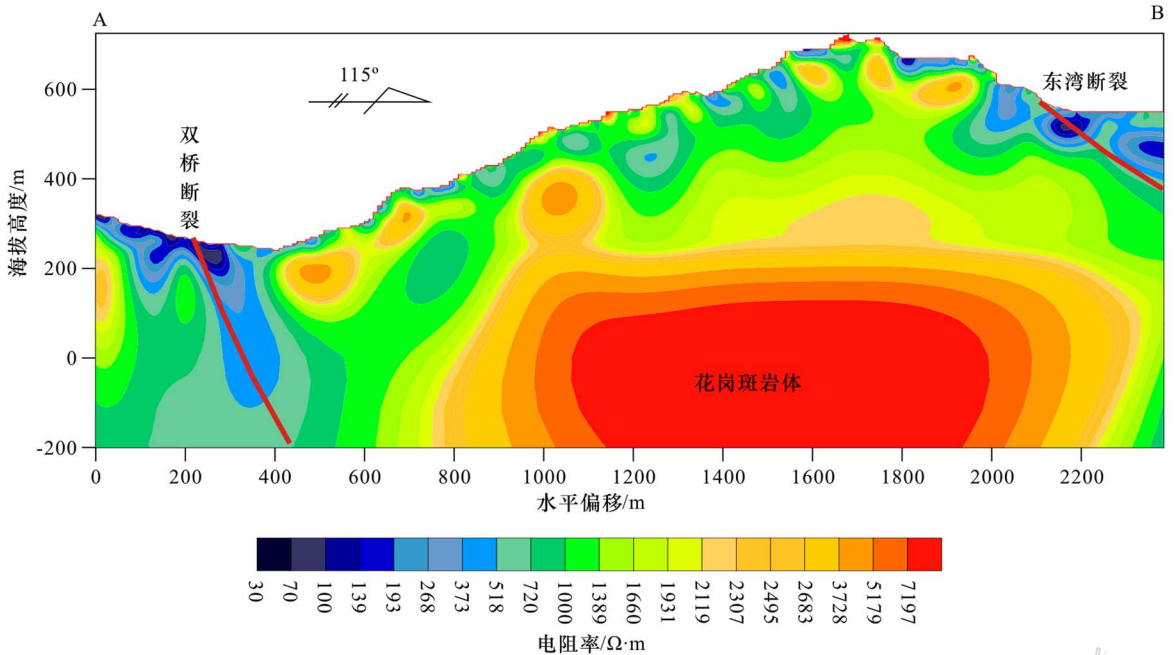


图 2 大桥坞-白鹤岩地区电磁测量剖面(图中暖色调为高阻体花岗斑岩,冷色调为低阻体凝灰岩)

Fig. 2 Electromagnetic surveying profile in Daqiaowu-Baiheyuan area (warm tone shows granite-porphry of high resistance, whereas cool tone shows tuff of low resistance)

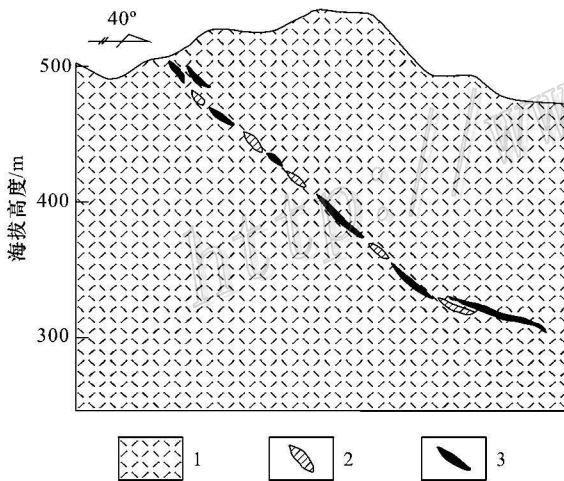


图 3 白鹤岩矿床剖面图<sup>①</sup>

1—白垩统黄尖组水云母化流纹质凝灰岩; 2—砾岩透镜体;  
3—铀矿体

Fig. 3 Exploration line of the Baiheyuan uranium deposit

1—Rhyolitic tuff of hydromicization in Lower Cretaceous Huangjian Formation; 2—Lenticular conglomerate; 3—Uranium ore body

### 3.2 成矿模式

根据上文论述,上述 3 个典型矿床虽然含矿围岩差别较大,但热液型成矿特征均非常明显,且 3 个矿床相距不远,控矿的主要因素,如断裂体系、蚀变场、岩体内外带含矿等特征相同或相近,可以也应该将其归入同一个成矿系统中来探讨其成因机制。综合各种控矿因素,建立了如图 5 所示的成矿模式。

#### 3.2.1 火山喷发和岩浆侵入阶段(图 5A)

依据火山活动特征,将本区火山喷发和岩浆侵入划分为 4 个期次,其特征如下:

##### (1) 火山喷发早期

该期大致相当于劳村期,因受 NW-SE 向拉张应力的作用,NE 向深大断裂复活,并以张性活动为主。根据 1:25 万金华幅区调资料,发现劳村组火山岩具双峰式特征,即玄武质或部分安山岩与流纹质火山岩之间 SiO<sub>2</sub> 并不连续,表明在劳村期该区处于拉张构造环境。该组主体为紫色碎屑沉积岩类夹流纹岩,厚约 600 m,指示火山活动已经开始,此外在工作区东部外围寿昌往北东方向,火山岩夹层明显增多,厚度增大,局部有玄武岩。这表明该时期盆地内由 SW 往 NE 火山活动有逐渐增强的趋势。该期火山岩成岩年龄为 135~127 Ma(颜铁增等,2005)。

① 核工业 269 大队. 2007. 浙江省铀矿资源大型勘查基地勘查规划研究报告. 内部资料.

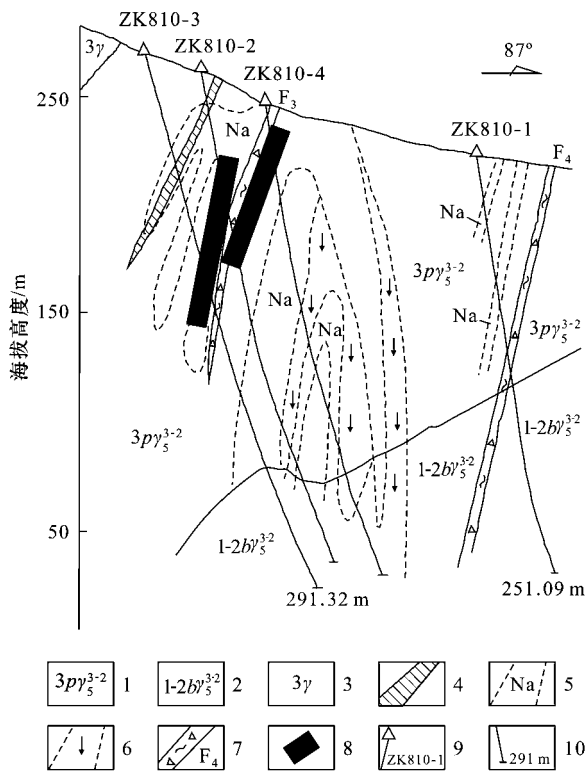


图4 杨梅湾矿床810线剖面图(据中国核工业地质局, 2005<sup>①</sup>)

1—细粒斑状花岗岩;2—中粗粒黑云母花岗岩;3—细粒花岗岩脉;4—霏细斑岩;5—钠化蚀变带;6—绿泥石化;7—硅化破碎带及编号;8—铀矿体;9—钻孔;10—钻孔深度

Fig. 4 No. 810 geological section of Yangmeiwan deposit (after Uranium Geology of East China, 2005)

1—Fine-grained porphyritic granite; 2—Coarse-medium grained biotite granite; 3—Fine-grained granitic vein; 4—Felsophyre; 5—Sodium alteration zone; 6—Chloritization; 7—Silicified fracture zone and its serial number; 8—Uranium ore body; 9—Borehole; 10—Depth of borehole

### (2) 火山强烈喷发期

该期相当于黄尖期,随着NW-SE向拉张的进一步加强,酸性岩浆大规模强烈爆发,由盆地内和边缘的断裂所控制的串珠状火口喷出。岩浆成分随着火山喷发不断演化发生了明显的变化,早期以酸性岩浆喷发为主,以后逐渐过渡为流纹英安质岩浆,形成各种流纹质和流纹英安质火山岩,以熔结凝灰岩为主,喷发产物几乎充满了整个盆地,这一阶段的晚期,随着岩浆房内压力的降低,形成侵出产状的碎斑流纹英安斑岩岩穹。该期火山岩成岩年龄为130~126 Ma(颜铁增等, 2005)。

### (3) 火山喷发晚期

该期相当于寿昌期,寿昌组岩性以紫红-杂色碎屑沉积岩

为主,间夹少量酸性火山岩,所夹火山岩的厚度也是由SW往NE增大,指示该阶段火山活动已大大减弱,火山岩分布范围明显缩小,且多分布在一些局部的火山洼地中。该层火山岩成岩年龄124~117 Ma(颜铁增, 2005)。

### (4) 侵入岩体侵位期

该期稍晚于寿昌期,此时最大主应力方向为NW-SE向(图6),受其影响,垂直于最大主压应力方向的NE向深大断裂以逆断层形式活动,造成沿断裂向上喷发的主要通道闭合,同时随着岩浆不断喷发,压力不断释放,岩浆动能进一步减小,岩浆无力冲出地表,以侵入岩的方式侵位于寿昌组及其之下的不同地层中。根据侵入岩切割、限制关系判断,早期侵入岩为酸性的花岗岩、花岗斑岩体,岩体规模不等,区内最大的侵入岩体为九华山岩体,侵位于黄尖组地层中,晚期为基性岩脉。基性岩脉产状较陡,界面平直,宽约3~5 m,常呈NW向切过花岗斑岩体,在龙游县城西边,可见基性岩脉侵入于晚白垩世衢江组(K<sub>2</sub>q)紫红色砂泥岩中。

需要说明的是,上述成岩年龄均为K-Ar或Ar-Ar法进行测定的,随着单颗粒锆石离子探针测年数据的不断积累,发现用传统的测年方法获得的数据值偏低。本项目组对黄尖组火山岩通过单颗粒锆石离子探针测年为137~140 Ma。据此认为上述年龄值提升10 Ma左右,可能较为合理地反映了本区地层的真实年龄。

### 3.2.2 大规模铀成矿阶段(图5B)

成矿作用能否发生,需要有严格的含矿热液形成、运移和富集条件。在岩浆喷发晚期,随着岩浆的不断分异、结晶,有益组分被大量分离出来,为成矿准备了良好的含矿热液条件。加之当时的构造应力场最大主压应力为NW-SE向,造成NE-SW向拉张,形成一系列的NW向张性断裂,为成矿准备了理想的储矿空间。

### (1) 热液活动期次及成矿阶段划分

本区侵入岩浆活动可分为2期,早期为酸性岩浆侵入阶段,晚期为基性岩浆侵入阶段。结合本项目及前人通过沥青铀矿获得的成矿年龄(林祥铨, 1990;王剑锋, 1992;陈爱群, 1999)(表1),发现本区铀成矿也可划分为2个阶段,早期铀成矿年龄为125~115 Ma之间,与寿昌组晚期火山凝灰岩成岩年龄较一致,即相当于酸性岩浆侵入阶段,晚期铀成矿年龄为90.9~70.2 Ma之间,野外观察发现有基性岩脉侵入到寿昌组之上的衢县组(K<sub>2</sub>q)中,大桥坞矿区基性岩脉K-Ar年龄为95~90 Ma之间(王正其,未发表数据),晚期成矿年龄与基性岩脉侵入时间相吻合。在钻孔岩芯中,铀成矿也明显的表现为2个阶段,早期为与赤铁矿化、钠交代和硅化有关的铀成矿,在钻孔岩芯中表现为红色,矿体品位相对较低;晚期为与萤石、金属硫化物有关的铀成矿,在钻孔岩芯中表现为黑

① 中国核工业地质局, 2005. 华东铀矿地质志(上、下卷). 内部资料.

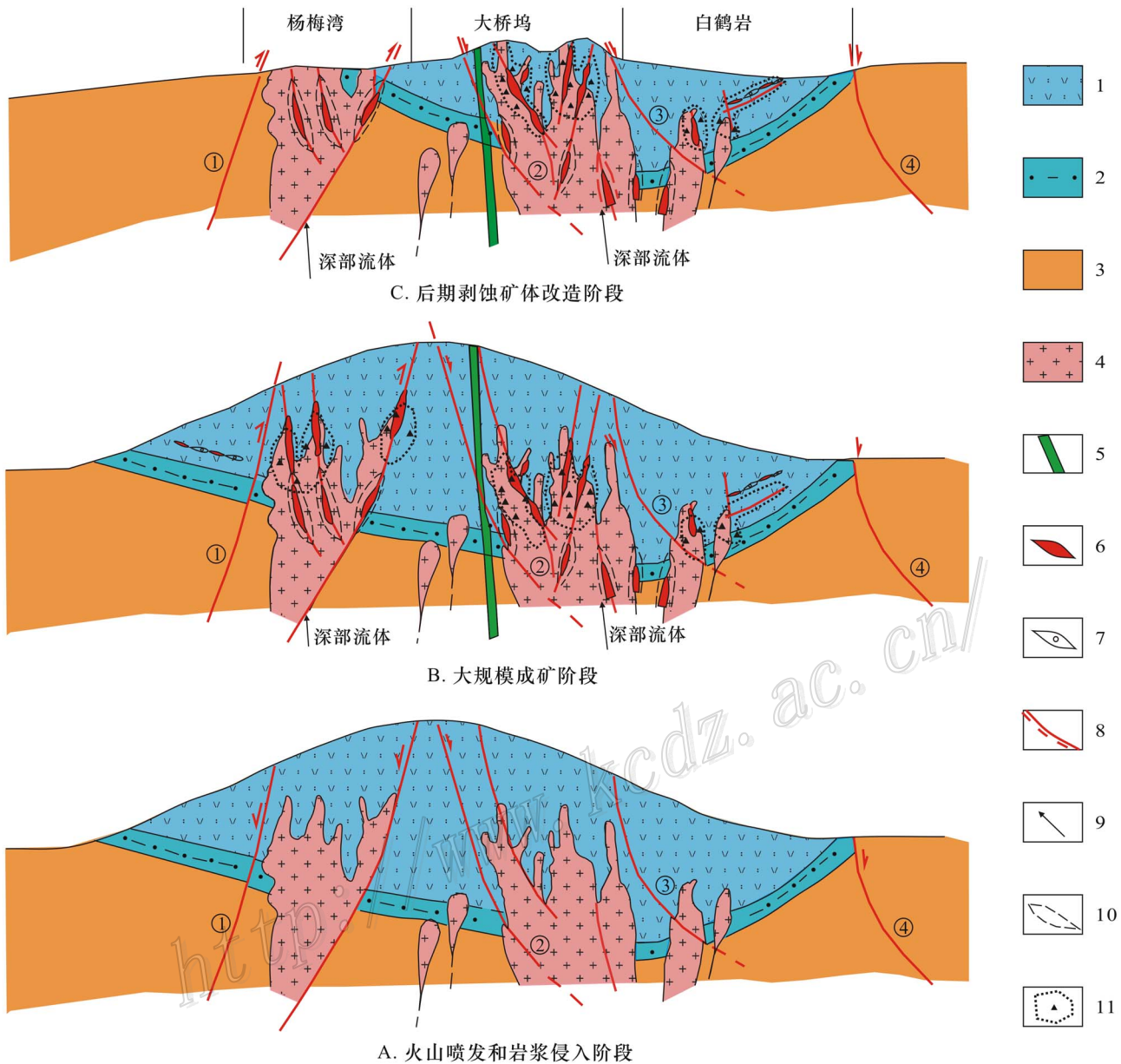


图 5 衢州北部新路地区成矿模式图

1—下白垩统黄尖组火山凝灰岩；2—下白垩统劳村组砂砾岩夹火山凝灰岩；3—前震旦纪变质岩；4—花岗岩或花岗斑岩；5—基性岩脉；6—铀矿体；7—隐爆角砾岩层；8—实测及推测断层；9—成矿流体运移方向；10—钠交代蚀变带；11—隐爆角砾岩范围；①—球川萧山深大断裂；②—双桥断裂；③—东湾断裂；④—常山漓渚深大断裂

Fig. 5 Uranium metallogenic model for the west segment of Xinlu volcanic basin

1—Volcanic tuff of Lower Cretaceous Huangjian Formation; 2—Sandstone-conglomerate of Lower Cretaceous Laocun Formation intercalated with volcanic tuff; 3—Pre-Sinian metamorphic rock; 4—Granite or granite-porphry; 5—Basic dike; 6—Uranium ore body; 7—Cryptoexplosive breccia; 8—Measured and inferred faults; 9—Migration direction of metallogenic fluid; 10—Albite metasomatic alteration; 11—Limits of cryptoexplosive breccia; ①—Quchaun-Xiaoshan deep fault; ②—Shuangqiao fault; ③—Dongwai fault; ④—Changshan-Lizhu large fault

色、紫黑色，矿体品位较高。

这些现象说明，成矿与 2 期岩浆侵入关系密切。一方面侵入岩体边部是构造薄弱面，是重要的储矿空间。同时，根据铀钍分析发现，酸性侵入岩无矿段  $w(U)$  为  $(3.03 \sim 3.89) \times 10^{-6}$ ，平均铀含量为  $3.46 \times 10^{-6}$ ， $w(Tu)$  为  $(19.60 \sim 22.80) \times$

$10^{-6}$ ，平均铀含量为  $21.08 \times 10^{-6}$  (表 2)，加权平均 Th/U 比值为 6.13 (正常值为 1~4)。Th/U 比值明显偏离正常值，其他岩性的 Th/U 比值则在正常值范围之内，指示酸性侵入岩中的部分铀被迁移带出，成为重要的铀源体，这可能是斑岩体与铀矿化相伴产生的重要原因。



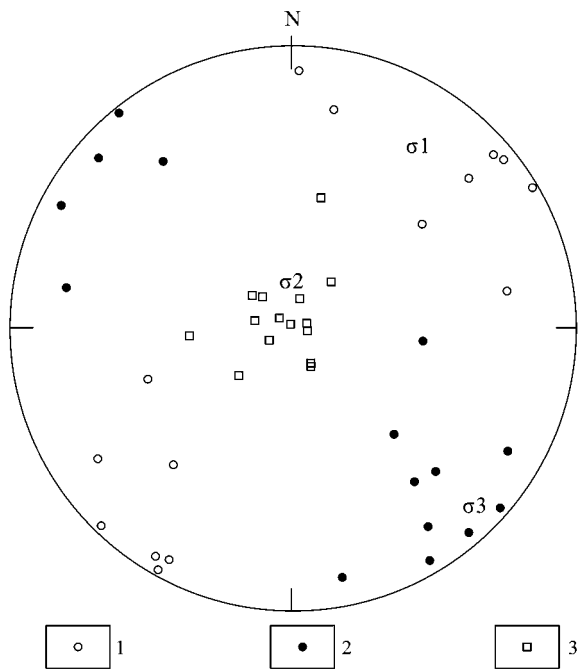


图 6 寿昌晚期主应力轴产状

1—最小主压应力；2—最大主压应力；3—中间主压应力

Fig. 6 Mode of occurrence of principal stress axis in late Shouchang epoch

1—Minimum principal stress；2—Maximum principal stress；3—Middle principal stress

(2) 导矿构造和含矿构造划分

勘探结果表明,矿化主要集中于 NW 向次级断裂中,在深大断裂面中未见铀矿化,同时发现主要铀矿床又多靠近深大断裂,这说明成矿与深大断裂存在一定的内在联系。初步认为,NE 向断裂规模大,很多为一级或二级构造单元的边界,切割深度大,是深部流体向上运移的主要通道,而 NW 向断裂规模较小,多不超过 10 km,切割深度有限,深部成矿流体很难沿其运移至浅部。又因深大断裂裂隙较宽,导通性好,流体流经其中时,速度较快,有用组分难以沉淀富集。而与之相贯通的 NW 向断裂面,因其规模小,流体流速慢,易于富集成矿。需要强调的是 NW 向含矿断裂一定要与 NE 向大断裂相贯通,否则难以成矿,这也是并非所有 NW 向小断裂均有成矿的原因所在。

综上所述,2 期的侵入岩浆作用,为成矿准备了含矿热液流体,NE 向深大断裂构成了含矿流体的主要导矿构造,NW

表 1 研究区重点矿床成矿年龄表

Table 1 Ore-forming age of key deposits in the study area			
矿床名称	矿床代号	早期成矿阶段	晚期成矿阶段
白鹤岩	670	117 Ma*	(90.9 ± 1.3) Ma, 75Ma* (71.2 ± 1.0) Ma
大桥坞	671	(125.0 ± 1.8) Ma, 118 Ma*	(86.5 ± 1.2) Ma, (70.2 ± 1.0) Ma, 75Ma*
杨梅湾	621	124 Ma*, 115 Ma*	

\* 为前人研究成果(白鹤岩矿床据林祥铨,1990;大桥坞矿床据陈爱群,1999;杨梅湾矿床据王剑锋,1992)

表 2 研究区不同时代、不同岩性铀、钍含量表( $w_B/10^{-6}$ )

Table 2 Uranium and thorium content of different epochs and rocks in the study area( $w_B/10^{-6}$ )

样号	岩石名称	时代	Th	U	Th/U*	样号	岩石名称	时代	Th	U	Th/U*
ZK12-31-21	灰白色花岗斑岩	$K_1h$	22.40	3.28	6.83	sf-15	紫红色熔结凝灰岩	$K_1s$	11.40	11.10	1.03
ZK12-31-24	灰色花岗斑岩	$K_1h$	21.00	3.89	5.40	sf-16	灰绿色粉砂岩	$K_1s$	9.27	6.51	1.42
ZK12-31-29	灰白色花岗斑岩	$K_1h$	19.60	3.37	5.82	JD-14	紫褐色流纹斑岩	$K_1s$	15.70	2.96	5.30
ZK12-31-36	灰白色花岗斑岩	$K_1h$	22.80	3.61	6.32	JD-16	灰褐色斑状流纹岩	$K_1s$	18.50	5.22	3.54
ZK12-31-37	肉红色花岗斑岩	$K_1h$	20.10	3.03	6.63	JD-17	灰绿色含砾凝灰岩	$K_1s$	13.30	3.70	3.59
ZK12-31-41	灰白色花岗斑岩	$K_1h$	20.60	3.55	5.80	JD-18	灰白色含砾凝灰岩	$K_1s$	18.70	10.50	1.78
平均值			21.08	3.46	6.13	JD-19	红褐色含砾凝灰岩	$K_1s$	15.80	5.93	2.66
ZK12-31-51	浅红色凝灰岩	$K_1h$	22.80	12.00	1.90	平均值			14.67	6.56	2.76
ZK12-31-18	灰白色凝灰岩	$K_1h$	25.00	5.47	4.57	JM-1	辉绿岩		4.72	1.27	3.72
ZK12-31-15	灰色凝灰岩	$K_1h$	24.10	5.57	4.33	大坑前-5	辉绿岩		13.40	2.26	5.93
ZK12-31-2	灰绿色凝灰岩	$K_1h$	22.30	7.20	3.10	LY-3	玄武岩		9.49	2.53	3.75
ZK12-31-11	浅灰白色凝灰岩	$K_1h$	17.50	3.77	4.64	QT-3	辉绿岩		5.67	2.81	2.02
ZK12-31-10	铁锈红色凝灰岩	$K_1h$	21.30	4.65	4.58	LY-1	煌斑岩		10.60	3.14	3.38
ZK12-31-9	灰色凝灰岩	$K_1h$	20.80	4.80	4.33	LY-2	辉长岩		10.40	3.17	3.28
ZK12-31-7	浅灰白色凝灰岩	$K_1h$	18.70	4.48	4.17	SL-2	辉绿岩		9.71	4.70	2.07
平均值			21.56	5.99	3.95	槽上-1	辉绿岩		4.79	1.80	2.66
						平均值			8.60	2.71	3.35

\* 单位为 1。

向次级断裂则是主要的储矿空间,构成了完整的含矿热液流体的形成、运移和富集体系,使得大规模成矿得以完成。

### (3) 矿体空间分布特征

现有勘探结果表明,杨梅湾矿床位于九华山岩体北部边缘,含矿段位于劳村组下部,铀矿体受钠交代、硅化控制;大桥坞矿床和白鹤岩矿床位于劳村组之上的黄尖组巨厚火山凝灰岩中,均受发生赤铁矿化、萤石化、金属硫化物化的蚀变带控制,不同的是,前者为脉控型铀矿床,后者为与透镜状角砾岩有关的似层状矿体,且白鹤岩矿床赋矿层位于大桥坞矿床之上。即自杨梅湾矿床到大桥坞矿床至白鹤岩矿床,含矿层位依次变浅,组成了类似“三层楼式”的矿体分布特征。为了表述方便,将类似于与钠交代、硅化有关的铀矿床称之为“杨梅湾式”铀矿床,将类似于与赤铁矿化、萤石化、金属硫化物化有关的脉控型铀矿床称之为“大桥坞式”铀矿床,而将与透镜体角砾岩和隐爆有关的铀矿床称之为“白鹤岩式”铀矿床。

### 3.2.3 后期剥蚀矿体改造阶段

在九华山岩体周围,早白垩世下部层位的劳村组出露地表(图1);且自岩体东侧—双桥断裂—东湾断裂(断裂上盘)出露地层依次变新,表现为自东向西逆冲推覆作用,即从白鹤岩矿床—大桥坞矿床—杨梅湾矿床,抬升剥蚀程度逐渐增强,导致杨梅湾矿床上部矿体的丢失。

目前,杨梅湾矿床最大控矿深度仅为300 m左右,且向下并未再发现铀矿化现象。图4所示的勘探线剖面也反映出矿体具有短小、向下连续性不明显等特征,指示在该区向下找矿的前景不明朗。在白鹤岩、大桥坞矿区,控矿深度达500 m左右,出露地层及含矿地层均为劳村组的上覆地层黄尖组。可见,此处不仅抬升剥蚀程度未及前者强烈,且就含矿层位来说,应位于杨梅湾地区上部。从杨梅湾矿区到白鹤岩、大桥坞矿区,控矿深度相差200 m左右,且出露地层变新,在相隔不远的同一研究区域内出现如此明显的差异,指示杨梅湾地区遭受的抬升和剥蚀程度较大。

据此认为在杨梅湾矿区只保留了下部层位矿体,在大桥坞矿区保留中、下部矿体,而白鹤岩矿区不同层位矿体均保留完整(图5C)。

## 4 研究区铀矿找矿建议

### 针对矿区外围和新区

(1) 首选地区应放在与NE、NNE向深大断裂较近的断层上盘地区,因NE、NNE向深大断裂是本区的主要导矿构造,其重点区域一般在距深大断裂断面出露线2 km的范围内,这一距离与断层规模和产状有关,具体操作时应适当缩放。

(2) 对上述重点地区进行水云母化蚀变填图,圈定其蚀变的平面分布范围。这是因为本区铀矿化多为隐伏矿体,赤铁矿化、萤石化、金属硫化物化等近矿围岩蚀变在地表出露极少,通过近矿围岩蚀变直接找矿很难达到预期效果,而远矿围

岩蚀变的水云母化蚀变则地表出露明显,成为该区间接找矿的重要标志。

(3) 对水云母蚀变范围内发育的NW向小断层、侵入岩体(花岗斑岩和花岗岩体)内外接触带区域进行重点查证。具体钻孔位置最好布在与深大断裂相贯通的NW向断裂上盘,因这些断裂是本区的主要储矿断裂。

### 针对已知矿区深部

由前文分析可知,从白鹤岩、大桥坞到杨梅湾地区,剥蚀程度逐渐加强,相应地对已形成的铀矿体破坏程度逐渐加大。据此认为在杨梅湾地区可能只保留下部层位矿体,据已掌握的地质事实,向深部找矿的证据不足,后期勘探重点应放在浅部外围扩大方面,在大桥坞地区浅部的“白鹤岩式”矿体可能已被剥蚀,除重点勘探中部层位的脉状矿体外,还要加强其深部“杨梅湾式”铀矿体的探索,该层矿体埋藏深度大于800 m;在白鹤岩地区矿体保留较好,隐爆角砾岩矿体已基本探明,部分矿体已开采,下部可能存在的“大桥坞式”和“杨梅湾式”2层矿体是将来勘探和研究的重点层位。

需要说明的是,上述勘探部位只是根据目前已掌握的证据而提出的认识。在火山岩盆地深部与基底地层接触面附近,也可能发育类似于“不整合面型”的铀矿体,相信随着勘探程度的不断深入和认识的不断提高,这些部位将有所突破。

志 谢 在成文过程中得到黄净白研究员的悉心指导,在野外工作中得到核工业269队同仁的大力支持,在本文评审过程中,审稿人提出了大量宝贵建议。在此,对他们的辛勤劳动表示衷心的感谢。

## References

- Chen A Q. 1999. Relations between “two-layer structure” of the porphyry massif and uranium mineralization in Daqiaowu uranium deposit in Zhejiang Province [J]. *Geol. Zhejiang*, 15(1): 25-33 (in Chinese with English abstract).
- Lin X Z. 1990. The study of U-Pb isotopic system and approach to the uranium source for several uranium deposits from Ganhang tectonic belt [J]. *Uranium Geol.*, 6(5): 257-264 (in Chinese with English abstract).
- Liu J Y, Shan N L, Qian J P and Wu H. 2007. The theory and method of buried deposits [M]. Beijing: Metallurgical Industry Pub. Co. 1-5 (in Chinese with English abstract).
- Qiu L F, Ou G X, Zhang J F and Zhang M. 2009. Geological-geochemical evidence for deep fluid action in Daqiaowu uranium deposit, Zhejiang Province [J]. *Uranium Geol.*, 25(4): 310-316 (in Chinese with English abstract).
- Wang J F. 1992. Investigation on the mineralization condition of volcanic uranium ore deposit and metallogenetic regularity in the northwest of Zhejiang Province [J]. *Uranium Geol.*, 8(4): 200-208 (in Chinese with English abstract).
- Yan T Z, Lu Z D, Yu Y W, Wang J G, Wang K Z and Xu X M. 2005. Result of regional geological survey in Jinhua (1:250000) [R].

237-271 (in Chinese with English abstract).

Yang J M and Xiong S F. 2003. Metallogenic model and prospecting-exploration direction of some volcanics-type uranium deposit in Zhejiang and Jiangxi Provinces[J]. Uranium Geol., 19(5): 283-289 (in Chinese with English abstract).

Yu D G. 1992. The metallogenic-structure environment, magmatite system, metallogenic series and metallogenic modes of volcanic type U-deposits in the southeast China[J]. East China University of Technology Transaction, 15(1): 11-12 (in Chinese with English abstract).

Zhou J Z. 1992. The geological features and origins of NO. 670 uranium deposit[J]. J. East China Institute of Technology, 15(1): 12 (in Chinese with English abstract).

Zhou X H, Yan Z B and Hu Y J. 2004. Study on facies of Mesozoic volcanic rock and types of uranium deposits in Zhegan[J]. J. East China Institute of Technology, 27(4): 327-332 (in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

陈爱群. 1999. 浙江大桥坞铀矿床斑岩体的“双层结构”与铀矿化[J].

浙江地质, 15(1): 25-33.

林祥铨. 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.

刘家远, 单娜琳, 钱建平, 吴虹. 2007. 隐伏矿床预测的理论和方法[M]. 北京: 冶金工业出版社. 1-5.

邱林飞, 欧光习, 张建锋, 张敏. 2009. 浙江大桥坞铀矿床深部流体作用的地质地球化学证据[J]. 铀矿地质, 25(6): 330-337.

王剑锋. 1992. 浙西北火山岩型铀矿床的成矿条件及成矿规律研究[J]. 铀矿地质, 8(4): 200-208.

颜铁增, 陆祖达, 俞云文, 汪建国, 王孔忠, 许兴苗. 2005. 1:250000 金华市幅区域地质调查成果报告[R]. 237-271.

杨建明, 熊韶峰. 2003. 浙赣若干火山岩型铀矿床成矿模式及找矿勘探方向[J]. 铀矿地质, 19(5): 283-289.

余达淦. 1992. 中国东南部火山岩型铀矿成矿构造环境、岩浆岩体系、成矿系列及成矿模式[J]. 华东地质学院学报, 15(1): 11-12.

周家志. 1992. 670 铀矿床地质特征及其成因[J]. 华东地质学院学报, 15(1): 12.

周肖华, 严兆彬, 胡玉江. 2004. 浙赣中生代火山岩岩相与铀矿床类型研究[J]. 东华理工学院学报, 27(4): 327-332.

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