

文章编号: 0258-7106(2014)01-0201-09

赣南白面石铀矿田成因再认识^{*}

彭培坤¹, 张运涛^{1, 2, *}, 倪修义³, 裴荣富², 陈永飞³, 龙承高⁴, 于波², 王浩琳²

(1 江西中核矿业开发有限公司, 江西 南昌 330096; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

3 江西省核工业地质局二六四大队, 江西 赣州 341000; 4 江西省核工业地质局二六七大队, 江西 九江 332000)

摘 要 赣南白面石铀矿田经上世纪 60~80 年代勘查, 发现和探明了白面石、龙坑、双坑、马茅塘 4 个铀矿床和黄泥湖铀矿点, 成为中国重要的铀资源基地。该矿田产于 EW 向南岭铀成矿带东段的白面石沉积-火山盆地内。该盆地的基底为印支期白面石花岗岩体, 盖层为中侏罗统菖蒲组。盖层的底部为第一层砂岩, 其上由基性-酸性双峰式火山岩组合与 5 层碎屑岩夹层组成。铀矿主要赋存在盖层底部的第一层砂岩中, 其次是产在第一层玄武岩与第一层砂岩的接触带, 有少量产在基底花岗岩顶部的风化壳中。关于该铀矿田的成因, 有砂岩型沉积说、同生沉积后生富集说、成岩成矿热液叠加说、岩浆热液说, 等等。为了厘定矿床成因类型, 以确立今后的找矿方向, 笔者对该矿田的资料进行了重新整理, 应用 Minesight 软件选择典型的白面石铀矿床建立了三维地质模型, 并收集了最新的同位素定年和岩石地球化学分析资料。研究表明, 白面石铀矿田存在 2 次成矿(160~156 Ma 和 99~86 Ma), 其主成矿作用与第一层玄武岩的覆盖, 在空间上相伴(铀矿体主要赋存于第一层砂岩及其与玄武岩的接触带), 时间上相近(成矿时间为 160~156 Ma, 玄武岩成岩时间为 173 Ma), 成生上相关(矿化具有明显的中-低温热液蚀变), 为火山热盖成因类型, 后期又有大量脉体活动, 在岩脉两侧的砂岩层内又有热液型铀矿化叠加, 从而形成了火山热盖及热液叠加的复成因矿床。该矿田的成矿条件是: 富铀的基底, 砂岩的沉积, 洼沟的地形, 岩浆的热盖, 脉岩的入侵。

关键词 地质学; 火山盆地; 双峰式火山岩组合; 火山热盖型; 成矿条件; 白面石铀矿田; 赣南

中图分类号: P619.14

文献标志码: A

Genetic recognition of Baimianshi uranium ore field in southern Jiangxi Province

PENG PeiKun¹, ZHANG YunTao^{1,2}, NI XiuYi³, PEI RongFu², CHEN YongFei³,
LONG ChengGao⁴, YU Bo² and WANG HaoLin²

(1 Jiangxi Zhonghe Mining Development Co. Ltd., Nanchang 330096, Jiangxi, China; 2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 No. 264 Geological Party of Jiangxi Nuclear Industry, Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 4 No. 267 Geological Party of Jiangxi Nuclear Industry, Jiujiang 332000, Jiangxi, China)

Abstract

As one of the key uranium resource bases in China shown by 1960s-1980s exploration, the Baimianshi uranium ore field is composed of 4 uranium deposits (Baimianshi, Longkeng, Shuangkeng, Maqitang) and an ore spot (Huangnihu). The Baimianshi uranium ore field is located in a sedimentary-volcanic basin in the eastern

^{*} 本文得到国家科技部支撑计划项目(编号: 2009BAB43B04) 中央地质勘查基金项目(编号: 2011360003) 江西省地勘基金项目(编号: 20110211)共同资助

第一作者简介 彭培坤, 男, 1964 年生, 高级工程师, 从事矿床地质勘查研究。Email: pengpeikun64@163.com

^{**} 通讯作者 张运涛, 男, 1967 年生, 博士研究生, 教授级高级工程师, 从事矿床学、大比例尺成矿预测等研究。Email: zhangyun-
tao264@163.com

收稿日期 2013-02-28; 改回日期 2013-05-02。许德煊编辑。

segment of the EW-trending Nanling uranium metallogenetic belt. The basement of the sedimentary-volcanic basin is Indosinian Baimianshi granite pluton covered by middle Jurassic Changpu Formation. The Changpu Formation consists of arkosic quartz sandstone at its bottom, covered by basic-acid bi-model volcanic rocks and 5 pyroclastic layers. Uranium occurs in the first sandstone layer and at the bottom of the first basalt layer as well as on the top of basement granite and its weathering crust. There are many controversial theories on its genetic model, such as sandstone theory, syngenetic sedimentation followed by enrichment theory, hydrothermal superimposition upon diagenetic metallogenesis model, and hydrothermal theory. In order to define the genetic mode of the ore field for further exploration, the authors collected the updated isotope geochronologic and lithochemical data, built up three-dimensional geological model using Minesight software, and confirmed two-stage metallogenesis (160 Ma and 99 Ma respectively) for the Baimianshi uranium ore field, in which the main metallogenetic stage corresponded to the first basalt layer in space and in time as well as in temperature, belonging to volcanic hydrothermal cover type. The uranium ore field then experienced the superimposition of large scale hydrothermal veining. As a result, the Baimianshi uranium ore field belongs to the model of volcanic cover with hydrothermal superimposition, with the metallogenetic condition being "uranium-rich basement, sandstone, paleo-tunnel, hydrothermal cover and vein". "Searching volcanic crater, studying basement granite" can serve as a guide for further exploration.

Key words: geology, volcanic basin, bi-model volcanics, volcanic hydrothermal cover, metallogenetic condition, Baimianshi uranium ore field, southern Jiangxi Province

赣南白面石铀矿田位于南岭 EW 向铀多金属成矿带内,在上世纪 60~80 年代,经勘查发现和探明了白面石、龙坑、双坑和马茅塘 4 个铀矿床及黄泥湖铀矿点,成为中国重要的铀资源基地。以往,该矿田的工作重点主要在于底部砂岩,将矿床成因定为“沉积砂岩型”,而对火山活动及其对铀成矿的作用未予以重视。近年来,笔者重新制作了大量综合性图件,建立了矿床的三维模型,收集了大量同位素定年资料和岩石化学分析数据。经综合研究发现,白面石铀矿田内矿床的成因为与中侏罗世火山喷溢及后期构造热液活动有关的火山热盖亚型;矿田深部存在大量火山机构(如火山管道)型、热液(水)型富铀矿体。这一新认识无疑扩大了在该盆地内找矿的视野,有助于提升白面石铀矿田的规模。

1 地质背景

白面石铀矿田位于华南褶皱系中武夷山隆起带与南岭隆起带的交汇部位,安远-寻乌热隆构造的西南缘(陈贵华等,2001;张万良等,2005)。该区于海西运动后隆起,上古生界已剥蚀殆尽,仅出露震旦系—寒武系浅变质岩系,主要分布在相对拗陷的区段内,组成了该区的构造基底。震旦系—寒武系的主要岩性为变余砂岩、绢云母片岩、碳质或硅质板岩,

并已发生强烈褶皱。

区内大面积出露花岗岩体,从西到东产出有足洞、定南、白面石、单观嶂、罗浮和桂坑等花岗岩体,均为印支期—燕山期大型复式花岗岩基。其主体多为印支期(董晨阳等,2010),岩性为中-粗粒(似)斑状黑云母花岗岩,成因均属原地或半原地交代(S)型(董晨阳等,2010);补体多为燕山期,岩性为中-细粒黑云母花岗岩(Chen et al., 2002),成因多属重熔再生(S)型或 A 型花岗岩(孔兴功等,2000b)。这些岩体组成了中生代沉积火山盆地的基底(董晨阳等,2010)。

因受南岭岩浆岩带(Hua et al., 2005)的影响,中侏罗世期间,该区发生了强烈的火山活动,区内呈 EW 向展布的沉积-火山盆地(Jiang et al., 2011)十分醒目。盆地的基底多为花岗岩或震旦系-寒武系变质岩,盖层均为由玄武岩-流纹岩组成的双峰式(A 型)火山岩组合(孔兴功等,2000b),并夹有薄层沉积碎屑岩或火山碎屑岩。

区内构造发育。早期受南岭构造带的影响,EW 向构造十分发育,矿田内主要有三南-寻乌深断裂;晚期受武夷山构造带的影响,NNE 向的鹰潭-安远深断裂及邵武-河源深断裂通过该区的东侧;尤其是这 2 组构造的长期活动,共同形成了安远-寻乌热隆环状构造(张万良等,2005;陈贵华等,2001)。因此,区

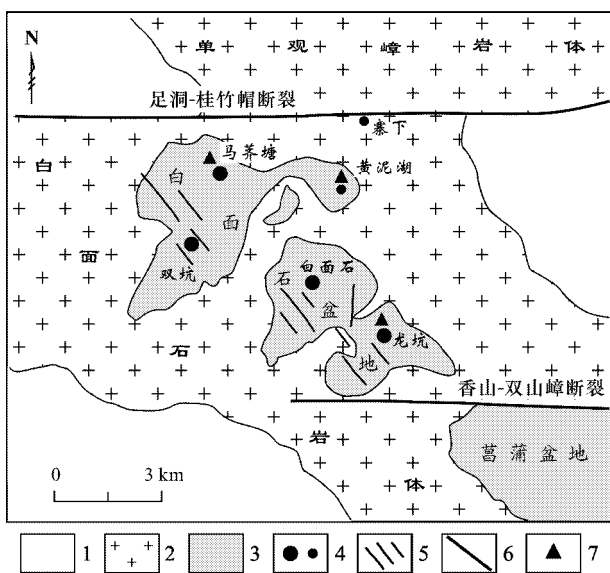


图1 白面石铀矿田地质略图

- 1—震旦系—寒武系; 2—花岗岩; 3—中侏罗世盆地;
4—铀矿床、矿点; 5—斑岩脉; 6—断裂; 7—火山口

Fig. 1 Geological sketch map of the Baimianshi uranium ore field

- 1—Sinian-Cambrian; 2—Granite; 3—Middle Jurassic basin;
4—Uranium deposit or ore spot; 5—Porphyry vein; 6—Fault;
7—Volcanic crater

内的EW向和NNE向断裂极其发育,晚期的NW向构造也成组成群出现,并多被石英斑岩或辉绿岩脉所充填。

2 白面石盆地特征

白面石盆地位于足洞-桂竹帽断层(三南-寻乌EW向深断裂的东段)与鹰潭-安远NE向深断裂的交汇处,安远-寻乌热隆环状构造的西南缘,属燕山早期裂陷沉积-火山盆地。由于长期隆起、剥蚀,该盆地仅残留22 km²,由龙坑、白面石和双坑-马茅塘3个凹陷组成,呈NW向展布,具双层结构(图1)。

该盆地的基底为白面石花岗岩体。该岩体出露面积约300 km²,呈NW向展布,为印支期大型复式岩体,由柱石和早禾2岩体组成。其主体为柱石岩体,Rb-Sr等时线年龄为(249.9 ± 5.5) Ma(陈培荣等,2000),锆石U-Pb同位素年龄为(241 ± 7) Ma(孔兴功等,2000a,2000b;董晨阳等,2010)。该岩体北部与单观嶂花岗岩体呈断层接触,两侧与震旦系—寒武系浅变质岩呈侵入接触,岩性为中-细粒二云

母花岗岩,顶部有0~5 m厚的风化壳。岩石的化学成分具有富钾、富硅、铝过饱和、贫钙、铁、镁,钾大于钠,微量元素富Rb、Th、Ta,亏损Eu,轻稀土元素富集等特点,属典型的强过铝S型花岗岩,其原岩为震旦系-寒武系变质岩(董晨阳等,2010)。

该盆地的盖层为中侏罗统的一套沉积-火山岩建造,即菖蒲组。其底部为第一层砂岩,一般厚5~20 m,岩性为粗-细粒长石石英砂岩,往往含砾及碳屑,并赋存有含少量植物化石碎片的细砂岩、粉砂岩夹层,其产状随花岗岩顶板的古地形而变化,呈缓倾斜的波浪状,韵律不清楚,属河床河网相古地理环境。在盆地发展的初始阶段(中侏罗世),在第一层砂岩沉积的同时,就遭受到白面石火山活动喷溢物——第一层玄武岩的覆盖。第一层玄武岩主要为辉石玄武岩,由于在水中,故其顶、底部往往有气孔(后期充填钙质而成为杏仁状),且因骤然冷却、收缩而出现淬火、破裂现象(张万良,2001)。第一层玄武岩形成后,其上又间歇性地多次接受了沉积和遭受玄武岩覆盖。其沉积碎屑岩为紫红色砂岩或凝灰质砂岩;玄武岩为拉辉玄武岩、橄榄玄武岩或伊丁玄武岩。盆地发展的最后阶段,产出酸性的流纹斑岩,覆盖在火山口的周围,结束了该次火山活动(图2)。这套火山岩的喷溢形成了由基性至酸性的双峰式火山岩组合(陈培荣等,2000)。第一层玄武岩的Rb-Sr等时线年龄为(172.60 ± 2.13) Ma(张万良,2001),顶部流纹斑岩的Rb-Sr等时线年龄为(165.10 ± 7.07) Ma(张万良,2001),其Sm-Nd同位素特征显示出其为地壳成因(孔兴功等,2000a)。

白面石盆地内构造十分复杂。由于地处南岭深层构造EW向布格重力梯度带(付湘,2002),又受到武夷山构造带和安远-寻乌热隆环状构造的影响,故而,EW向、NNE向和密集的NW向构造组成了白面石盆地内构造的基本格架。

该矿田北部的EW向足洞-桂竹帽断裂长达100 km,受三南-寻乌深断裂的影响而呈左行侧列,使白面石岩体与单观嶂岩体呈断层接触;南部的香山-双山岭断裂长达50 km,为正断层性质,把白面石和菖蒲2个火山盆地分隔开,并使白面石盆地抬升、剥蚀。该盆地内EW向断裂的特点是规模小、等间距(2 km左右)展布,脉体追踪充填。

该盆地内有8条NNE向断裂,因受鹰潭-安远深断裂的影响,故其特点是规模较大、切割较深,亦呈等间距(约1.5~2 km)展布。NNE向主干断裂与

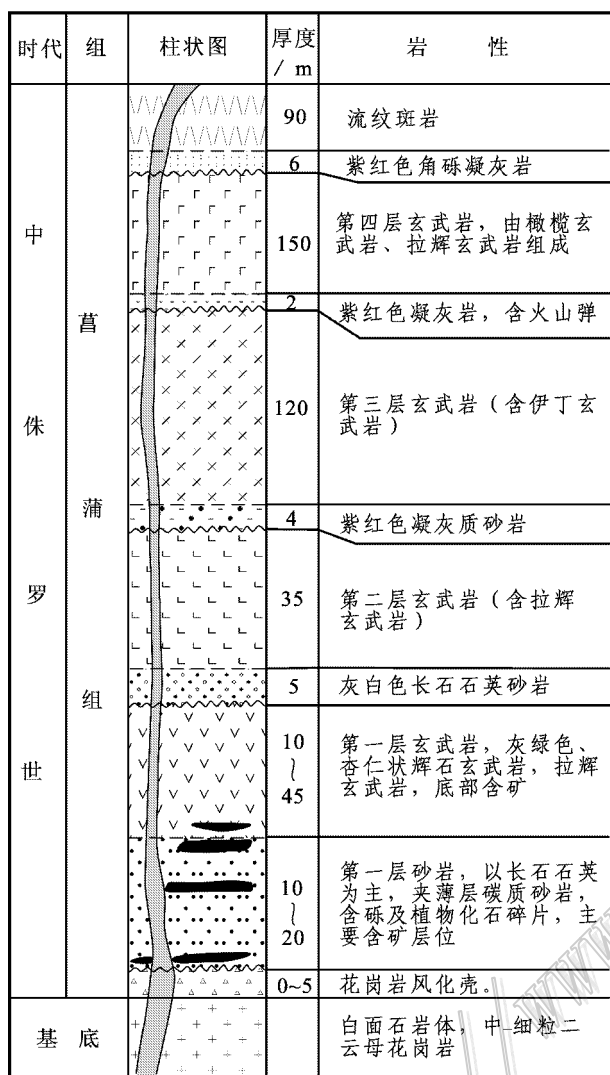


图2 白面石矿田地层综合柱状图

1—石英斑岩; 2—铀矿体; 3—不整合面

Fig. 2 Comprehensive columnar stratigraphic section of the Baimianshi uranium ore field

1—Quartz porphyry; 2—Uranium ore body; 3—Unconformity

EW 向断裂的交汇处往往是火山活动的中心, 即火山口的分布位置。

盆地内最为醒目是 NW 向断裂, 主要有 8 条, 是安远-寻乌热隆构造西南缘的组成部分, 其特点是形迹清晰、规模较大, 成组成群产出, 并充填了石英斑岩或辉绿岩, 构成岩脉群。石英斑岩的 Rb-Sr 同位素年龄为 99 Ma (张万良, 2001), 辉绿岩的 Rb-Sr 同位素年龄为 105 Ma (范洪海等, 2009)。盆地内, 斑岩广为分布, 龙坑矿区内有编号的斑岩脉体就达 73 条, 长度多为 3~5 km, 宽 10~20 m, 个别宽逾

100 m, 一般无错距, 多有分枝、复合现象。

该盆地内, 在龙坑的桐梓嶂、马茅塘的马茅塘村、黄泥湖的桂竹帽, 存在 3 处火山口。经钻探揭露, 这些火山口均被流纹斑岩充填了火山颈, 地层有塌陷内倾, 个别地段还出现集块岩或火山弹 (豆), 其周围发育有放射状和环状构造。

3 白面石盆地铀矿特征

白面石铀矿田由白面石、龙坑、双坑、马茅塘 4 个铀矿床和黄泥湖铀矿点组成, 这 4 个矿床均具中型规模, 已成为赣南地区重要的铀资源基地。

该铀矿田的主要特征如下:

铀矿主要分布在第一层砂岩中。白面石矿田内的铀矿主要集中分布在盖层底部的第一层砂岩中。该层砂岩的分布面积为 19.2 km², 占白面石盆地总面积 (22 km²) 的 87.2%, 不整合覆盖在基底花岗岩之上。砂岩的厚度一般为 5~20 m, 平均为 13.42 m, 但各地段的厚度不一, 少数地段还缺失。在马茅塘矿床, 该层砂岩的平均厚度为 11.5 m, 白面石矿床北区为 20.90 m, 南区为 13.03 m, 而在 124 地段, 该层砂岩的平均厚度仅为 6.67 m。经钻探勘查, 该层砂岩几乎都有铀矿化显示, 其见矿率 (包括工业矿体和矿化体) 为 55%。例如: 马茅塘矿床, 施工钻孔 318 个, 见第一层砂岩的钻孔有 292 个, 见矿钻孔有 156 个, 见矿率为 53.4%; 白面石矿床, 施工钻孔 657 个, 第一层砂岩中见矿钻孔有 299 个, 见矿率为 45.5%。在整个矿田, 第一层砂岩的铀工业储量占该矿田总储量的 84.1%。赋存在第一层砂岩与第一层玄武岩的接触带或玄武岩底部的铀矿占 10.5%, 产在花岗岩顶部及风化壳中的铀矿占 5% 左右。

铀矿体数量多、规模小、品位较低。据原储量计算中的块段统计, 白面石矿田中每个铀矿床的矿体数量都有近百个, 铀矿体的长度一般为 20~80 m, 最长达 320 m, 厚度一般为 1~2 m, 最厚为 8.50 m, 平均品位一般为 0.14%, 最高为 0.30%。矿体呈层状、似层状和透镜状, 其产状随砂岩层的产状而变化, 均呈缓倾斜的波浪状起伏, 走向及倾向不清楚, 倾角一般为 5~15°。在剖面上, 矿体与砂岩层往往有 0~5° 的夹角, 甚至有从花岗岩顶部经砂岩层到玄武岩的跨层现象 (图 3)。

铀矿石、矿物显示出热液特征。该矿田内的铀矿物主要为沥青铀矿, 多呈网脉状、细脉状或浸染状,

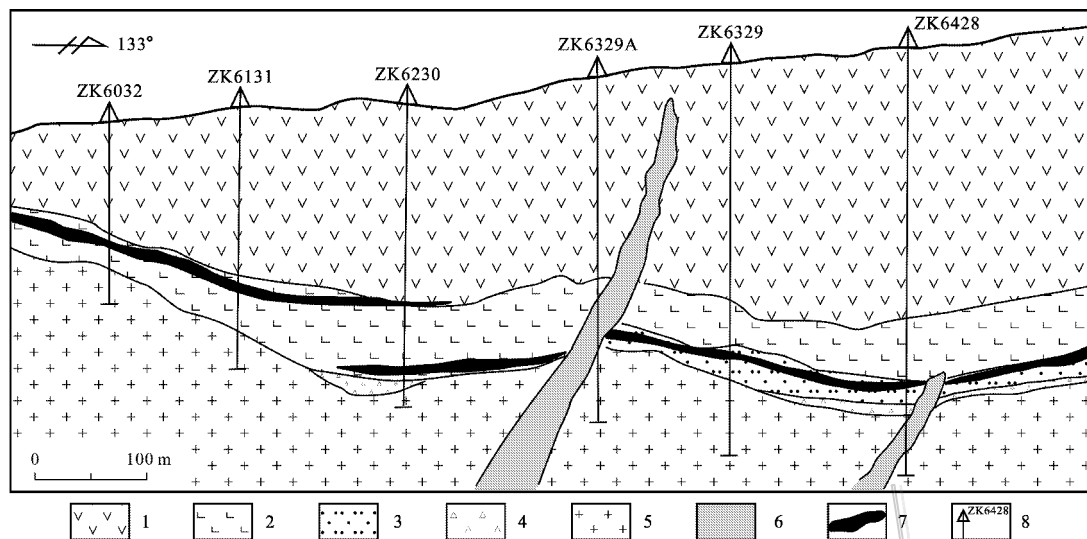


图3 龙坑矿床 ZK6032—ZK6428 剖面示意图

1—第二层玄武岩;2—第一层玄武岩;3—第一层砂岩;4—花岗岩风化壳;5—花岗岩;6—石英斑岩;7—铀矿体;8—钻孔及编号

Fig. 3 Schematic section from ZK6032 to ZK6428 of the Longkeng uranium deposit

1—Second basalt layer;2—First basalt layer;3—First sandstone layer;4—Granite weathering crust;5—Granite;6—Quartz porphyry;
7—Uranium ore body;8—Drill hole and its serial number

充填于岩石的裂隙内,或散布在黄铁矿、绢云母等蚀变矿物间。金属矿物有赤铁矿、黄铁矿、黄铜矿;非金属矿物以方解石和萤石为主。矿物共生组合为沥青铀矿-赤铁矿、沥青铀矿-黄铁矿及沥青铀矿-萤石。玄武岩中沥青铀矿的晶胞参数较大($a_0 = 5.367 \sim 5.462 \text{ \AA}$),砂岩中的则较小($a_0 = 5.05 \sim 5.392 \text{ \AA}$) (张万良 2001)。沥青铀矿的 U-Pb 同位素年龄有 2 期:早期为 $160 \sim 156 \text{ Ma}$ (张运涛等, 2010; 陈贵华等 2001),多呈浸染状和细脉状,晶胞参数偏小,反射率偏低(11%~12%);晚期为 $99 \sim 86 \text{ Ma}$ (张运涛等 2010),多呈脉状、细脉状,反射率可达 14%。近矿围岩蚀变主要是赤铁矿化(红化)、紫黑色萤石化和绿泥石化。这些均显示出其热液成矿的特征。

4 白面石铀矿田的成矿条件

近年来,作者重新制作了白面石铀矿田内各矿床的花岗岩顶板等高线图、砂岩等厚线图及铀矿化分布图,通过对比,选择典型的白面石矿床,运用 Minesight 软件建立了三维地质模型;同时,收集了大量的各相关地质体的同位素定年和岩石地球化学分析的最新资料。据此,作者认为白面石铀矿田具有如下 5 个成矿有利条件。

(1) 富铀基底是铀成矿的前提

白面石花岗岩体由中—中-细粒黑云母花岗岩、二云母花岗岩、白云母花岗岩组成,三者呈渐变关系,边缘遭受混合岩化。白云母花岗岩位于浅部,黑云母花岗岩位于深部。由盆地中心向边缘,花岗岩的粒度有变粗的趋势。花岗岩次生蚀变有:黑云母的绿泥石化、高岭土化,斜长石的绢云母化,正长石的高岭土化,岩体顶部蚀变较强,下部较弱。岩石富含铀,主体岩石的 $w(\text{U})$ 为 9.5×10^{-6} ,是岩石圈铀元素克拉克值($w(\text{U})$ 为 3×10^{-6})的 3.1 倍,补体岩体的 $w(\text{U})$ 为 12.5×10^{-6} ,其铀的浸出率高达 56.3% (章邦桐等 2003),属于高铀源体。在接受沉积以前,花岗岩体经过了漫长的剥蚀阶段,形成了凹凸不平的地形,构成了“古地形洼沟”的雏形,这种洼沟对于铀的沉积、迁移、富集起着重要的作用。随着花岗岩体的长期隆起、剥蚀,所产生的碎屑物和含铀溶液为成矿提供了丰富的铀源,这就成为白面石矿田铀成矿的前提。

(2) 第一层砂岩的形成是成矿的基础

该层砂岩的沉积面积占整个盆地面积(22 km^2)的 87.2%,呈层状产出。其下部为灰白色、灰绿色巨-粗粒含砾长石石英砂岩,分选性差、有明显的韵律性,是快速沉积的产物,属河漫滩相及山间盆地湖沼相。中-上部为灰白色、灰色、黑色含砾含碳长石石英砂岩,夹 3~5 层细砂岩、粉砂岩、泥质页岩和碳质

薄层。巨、粗、中-细粒砂状结构,主要由石英、正长石、酸性斜长石、白云母、伊利水云母、绢云母、高岭石、磷灰石、锆石、电气石组成。胶结物为碳质、砂泥质和黏土矿物等。砾石成分为中-细粒白云母花岗岩、灰白色砂岩、块状石英、肉红色-灰白色长石以及极少量的基性岩和变质砂岩碎块,磨圆度较差,呈棱角状、次棱角状,排列方向不明显,粒径一般为 1~5 cm。层理较发育。细粒、中-细粒长石石英砂岩的含矿性较差,中-粗粒、粗粒长石石英砂岩、含砾砂岩为主要含矿岩性。含矿砂岩的长石、石英、云母的含量显著高于不含矿砂岩。矿化多赋存于第一、第二沉积韵律内,特别是顶、底部。矿化主要富集在下述砂岩中:① 碳屑呈分散状产出的砂岩;② 小裂隙发育、裂隙两侧有碳屑分布的砂岩;③ 有碳质团块分布的砂岩。矿化砂岩广泛发育后生变化,与矿化有关的后生变化主要是溶蚀交代作用,表现为长石、石英被伊利水云母、高岭土、绿泥石、赤铁矿、方解石所交代,云母及水云母等黏土矿物的形成为铀矿物吸附提供了物质基础。化学分析表明, $\alpha(\text{Al}_2\text{O}_3)/\alpha(\text{SiO}_2) \times \text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比值随着铀含量的增高而增高(表 1), Al_2O_3 对铀有强烈的吸附作用, SiO_2 所形成的硅酸是铀沉淀的中酸性介质的组分,黄铁矿是铀沉淀的强还原剂。在氧化条件下,基底花岗岩还同时为砂岩层提供了含铀溶液,并使第一层砂岩中的 $\alpha(\text{U})$ 增加到 67.43×10^{-6} (章邦桐等,2003),成为铀的预富集(使原铀含量增加数倍,但未成矿),导致第一层砂岩中的铀异常范围达到 90% 以上。砂岩层内铀的预富集为铀的后期火山热水成矿奠定了物质基础,因此,若无第一层砂岩的存在即无白面石铀矿

田的生成。

(3) 古地形洼沟的存在是成矿的有利条件

白面石花岗岩顶板等高线图显示出,在白面石盆地内,具有相对低洼且具一定方向延伸的原始古地形,称之为“洼沟”。“洼沟”不仅能最先接受砂岩沉积,而且也是含铀水体和玄武岩浆首先聚集的场所,是含矿碎屑堆集及含矿溶液储存的有利空间,是矿化富集的有利地段。在这些地段内,沉积厚度中等的岩层(<7 m)矿化层次多,矿石质量也较好。白面石花岗岩顶板等高线图显示,白面石矿区内有 24 个洼沟,在其间的 60 个钻孔中,见工业矿体的就有 47 个,占 78%,而在等高线密集的斜坡地带施工的 37 个钻孔中,仅见 1 个工业矿体和 3 个矿化体。马茅塘矿区内有 19 个洼沟,其中有 15 个见矿,见矿率高达 79%,而在该矿区相对凸起的古地形内施工了 17 个钻孔,见矿率不足 30%。将花岗岩顶板等高线图与砂岩等厚线图进行对比后得知,洼沟部位并不一定是第一层砂岩厚度较大的部位,而是玄武岩覆盖层厚度较大的部位(这也反映出盆地当时处于河床河网相古地理环境),其见矿率较高显示出“洼沟”为铀的富集提供了有利的地形条件。

(4) 第一层玄武岩的覆盖是成矿的关键

白面石铀矿田内的玄武岩至少有 5 个喷发旋回。第Ⅰ旋回,上部岩性为安山玄武岩,中部为辉石玄武岩,下部为灰白色致密块状玄武岩或角砾状玄武岩;第Ⅱ旋回以拉辉玄武岩为主,以底部具有黑绿色杏仁体和褪色为特征;第Ⅲ旋回以辉石玄武岩为主,辉石往往蚀变为灰白色短矩形斑点,斑晶粗大,辉石玄武岩内夹有 1~2 层紫红色杏仁状玄武岩或紫

表 1 白面石铀矿田矿化岩石与正常岩石的对比

Table 1 Chemical composition of mineralized and other rocks from the Baimianshi uranium ore field

岩石名称	颜色	$\alpha(\text{B})\%$													
		U_3O_8	H_2O	SiO_2	Fe_2O_3	FeO	Al_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	MnO	P_2O_5	K_2O	Na_2O	烧失量
矿化拉辉玄武岩	黑色	0.62	1.50	43.18	1.05	5.47	17.45	9.33	0.69	1.28	0.14	0.18	1.09	2.01	7.45
正常拉辉玄武岩	灰绿	0.004	0.62	44.94	1.65	7.87	17.17	8.31	6.54	1.32	0.14	0.18	1.09	2.01	8.20
矿化玄武岩	黄绿	0.28	1.01	48.60	2.43	2.18	24.61	2.35	1.97	2.37	0.09	0.19	6.50	0.74	6.03
正常玄武岩	浅绿	0.009	0.87	65.09	2.71	4.60	21.41	5.90	3.07	1.84	0.17	0.17	4.76	0.70	8.03
矿化花岗岩			0.38	71.89	1.16	1.10	14.48	0.50	0.52	0.21	0.04	0.25	5.73	1.83	1.83
正常花岗岩			0.25	72.16	0.81	1.06	14.45	0.77	0.44	0.18	0.02	0.26	5.52	2.57	1.49
矿化花岗岩			0.26	72.23	1.16	0.91	13.97	0.63	0.52	0.15	0.02	0.26	5.18	2.38	1.54
正常花岗岩			0.21	72.62	0.60	1.04	14.07	0.70	0.40	0.13	0.02	0.28	5.34	2.68	1.30
粗粒砂岩	灰色	0.016	0.28	76.32	0.53	1.50	12.41	0.42	0.76	0.20	0.03	0.05	5.28	0.16	2.03
矿化粗粒砂岩	灰色	0.388	0.61	62.60	1.40	1.15	20.23	0.78	1.03	0.43	0.04	0.10	6.87	0.48	3.73
矿化含碳粗粒砂岩	红色	0.621	0.43	70.11	2.15	1.03	14.77	0.85	0.86	0.29	0.04	0.13	5.40	0.44	2.85

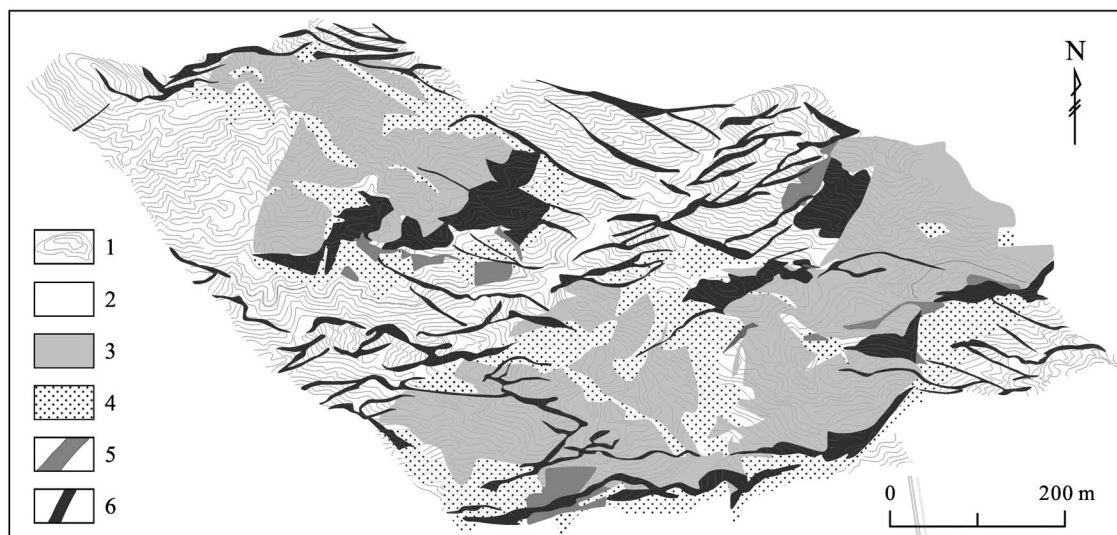


图4 白面石矿田三维地质模型图

1—等值线; 2—花岗岩; 3—玄武岩; 4—砂岩; 5—石英斑岩; 6—辉绿岩脉

Fig. 4 Three-dimensional geological model of the Baimianshi ore field

1—Contour line; 2—Granite; 3—Basalt; 4—Sandstone; 5—Quartz porphyry; 6—Diabase vein

红色玻基玄武岩;第Ⅳ旋回以橄榄玄武岩为主,橄榄石蚀变成鲜红色斑点,橄榄玄武岩内夹有1~3层紫红色杏仁状玄武岩或紫红色凝灰岩薄层;第Ⅴ旋回以橄榄玄武岩和拉辉玄武岩为主,安山玄武岩和磁铁玄武岩次之,靠下部夹有凝灰岩薄层。此后的喷发旋回属酸性的流纹斑岩,喷发形式为中心式。在这5个基性岩喷发旋回中,每个旋回之间均有陆相碎屑岩不整合覆盖于玄武岩之上,说明一个喷发旋回结束后,有较长的时间停止喷发,接受陆相碎屑岩的沉积。在5个喷发旋回中,第Ⅴ旋回的喷发强度最大,平均厚度为145 m;其次是第Ⅳ旋回,平均厚度为114 m。除了第Ⅰ、Ⅱ旋回之外,第Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ旋回内均存在1~3次短时间的喷发间断,以紫红色杏仁状玄武岩或紫红色凝灰岩作为喷发间断的岩性标志。

由三维地质模型(图4)可见,在白面石盆地内,第一层玄武岩的覆盖面积达92%以上,其平均厚度为49.7 m,最薄处为25 m。第一层玄武岩为深灰色,风化后呈灰黄色或红棕色;斑状结构,斑晶为长石和辉石,长石斑晶的粒度一般为1 mm,个别达2.5~5 mm,辉石斑晶的粒度为1~2 mm,基质致密;杏仁状构造,呈小圆球体和椭圆球体,后者常呈一定方向排列,粒度为2.5~4 mm,个别达7 mm,充填物有黑色方解石、绿泥石和玉髓等,杏仁体多分布于顶、底板相,中央相少见。杏仁状构造和顶、底板的淬火

裂隙也反映出,第一层玄武岩是在第一层砂岩沉积后尚未完全固结成岩时所发生的间歇性火山喷溢的产物。这种热覆盖使砂岩层在高温高压下加热脱水,并汇集成富含铀的热水体。当这些热水体迁移至玄武岩底板及其下的砂岩内,水体中的六价铀被还原并沉淀成矿,使得铀矿体与第一层玄武岩在空间上相伴。测得第一层玄武岩的成岩年龄为173 Ma,铀成矿年龄为160 Ma(张万良,2001),在时间上相近;测得铀成矿温度为276~343℃,属中温成矿(张万良,2001);其铀矿物共生组合为沥青铀矿-赤铁矿、沥青铀矿-黄铁矿、沥青铀矿-萤石;相应的近矿围岩蚀变为红化、萤石化;沥青铀矿呈细脉状、浸染状形式存在;等等。这一切都显示出铀矿化是在热水条件下形成的,在成因上与玄武岩的热覆盖相关。由构造引起的层间破碎导致第一层玄武岩,特别是其顶、底板,局部产生强烈片理化、褪色化等现象,促使铀在有利条件下再富集而形成工业矿体。因此,白面石铀矿田的主成矿期应是第一层玄武岩的覆盖期。

(5) 火山期后次火山岩脉体的充填是热液成矿叠加的有利因素

该矿田内,石英斑岩脉(部分地段为辉绿岩脉)分布广泛,多呈NW向、少数为SN向展布,在平面和剖面上均有追踪现象。仅白面石矿床7.4 km²面积内,有编号的石英斑岩脉就有67条,再加上小型

和隐伏的岩脉,足有上百条,部分岩脉在基底花岗岩中有合并现象。石英斑岩脉一般长几百米,宽逾 10 m,大多无明显断距。NW 向岩脉群是安远-寻乌热隆环状构造西南缘的配套产物,是岩浆期后充填的次火山岩脉体。测得石英斑岩的 K-Ar 年龄为 99 Ma(张万良,2001)。由平面图可见,绝大多数见矿钻孔分布在 2 条斑岩脉的夹持区内,而无斑岩分布的部位,见矿率极低。尤其是在坑道内可见,凡在第一层砂岩中见到斑岩切穿的部位,都毫无例外的在其旁侧有富矿体分布。例如,白面石矿床 22 号坑道内的砂岩层中有 9 处见斑岩,其旁侧都有富矿存在;主巷 439 m 及 12 号石门 48 m 处,斑岩两侧的铀矿品位都大于 1%,在 1 号坑道 2 条石英斑岩脉的夹持区内,砂岩层中富矿的连续长度达 70 m。沥青铀矿的 U-Pb 年龄为 99~86 Ma(张运涛等,2010)。随着脉岩的活动,带来了大量的热液,再则,这些脉岩致密,构成了很好的屏蔽层。脉岩的入侵,给第一层砂岩带来了多阶段的热量和压力,在热盖成矿后再次提供了热化学条件,在其影响范围内,改变了砂岩的地球化学性质,促使周围的铀矿化沿层间滑动带及其两侧的次级裂隙再运移,造成了岩脉两侧的砂岩层中热液铀矿的叠加(图 5)。

综上所述,可将白面石铀矿田的成矿条件归纳为“富铀的基底、砂岩的沉积、洼沟的地形、岩浆的热盖、脉岩的入侵”等必不可少的 5 项。

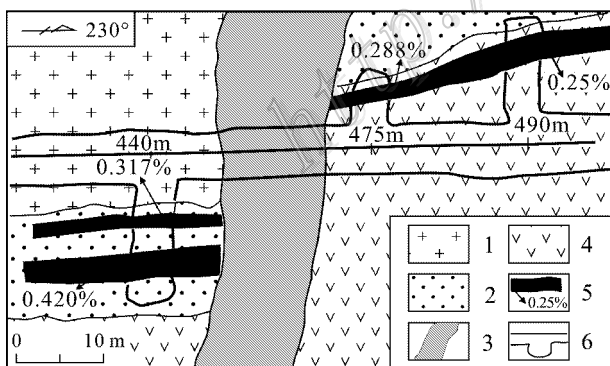


图 5 白面石矿床 22 号坑道主巷(440 m~490 m)展开图

1—花岗岩;2—砂岩;3—斑岩;4—玄武岩;
5—铀矿体及其品位;6—坑道

Fig. 5 Sketch map from 440 m to 490 m in No. 22 main tunnel of the Baimianshi uranium deposit

1—Granite; 2—Sandstone; 3—Porphyry; 4—Basalt;
5—Uranium ore body and its grade; 6—Gallery

5 白面石铀矿田成因分析

在上世纪 60~70 年代的勘查期间,是以砂岩沉积铀矿成因类型来指导白面石铀矿田的工程部署,其勘查对象主要是砂岩,忽视了对基底及火山机构的探索。之后,对其成因类型才有了火山沉积说(方锡珩,2009)、热液说(范洪海等,2009)、沉积成矿以及火山热水叠加说(钟启龙等,2011),等等。在这些观点中,“沉积成矿”或“同生沉积”说都是把第一层砂岩内铀的预富集(当时并未成矿)看作成矿阶段,而忽视了火山岩的成矿作用;“火山热水”、“热液论”虽然笼统地强调了火山的成矿作用,但无具体的时代定位,也未强调哪一层火山岩成矿的空间定位;尽管在 2006 年的《华东铀矿地质志》(内部刊物)中,白面石矿田的成因类型被定为“火山热盖型”,但也只是笼统地强调为火山岩的一次成矿,还缺乏定年资料的支持。

为了确定白面石铀矿田今后的找矿方向,笔者近年来重新制作了大量综合性图件,建立了矿床的三维模型,尤其是根据白面石铀矿田火山岩和沥青铀矿大量的同位素定年成果以及岩石化学分析数据,认为该矿田存在 2 个成矿期:主成矿期(160~156 Ma)为火山热盖型,铀矿在空间上与第一层玄武岩的覆盖相伴、时间上相近、成生上相关。第 2 成矿期(99~86 Ma)则为脉体侵入所形成的中温热液型,铀矿在空间上多分布在脉体密集区,富矿体在脉体旁侧的砂岩内集聚。两期沥青铀矿脉的穿插、成矿时间上的一致性、近矿围岩蚀变类型以及流体包裹体测温数据,都表明第 2 期成矿作用的存在,因此,在成因类型上,白面石铀矿田应为火山热盖及热液叠加的复成因矿床。

三叠纪末,在形成该区第一层砂岩的过程中,花岗岩内分散的铀经过原始迁移形成了第一层砂岩中的沉积铀。受南岭构造-岩浆带挤压的影响,地幔物质上涌,白面石盆地开始接受火山喷溢物质,即第一层玄武岩,此后,在盆地接受沉积的同时,间歇性地接受玄武岩的热覆盖。双峰式火山喷溢物覆盖在含矿砂岩之上,使成岩原生水不断受到挤压、增温,且溶解了大量的 CO_2 、 HCl 、 H_2S 等火山气体,使水质具有酸性特征,在热盖和强大的压力下,地下水循环加速,并成为混合热液,沉积物发生蚀变,砂岩内的胶结物绿泥石大量生成,造岩矿物发生重结晶、绢云母

变为白云母、石英再生增长等,导致岩石孔隙度缩小,从而形成了以铁绿泥石为主的吸附型铀矿化,其成矿年龄大致在156~130 Ma。后期脉岩的侵入使深部岩浆热液与盆地承压水发生混合作用,形成了活动性很强的钙碱性地下水热液。岩浆活动的上升压力与盆地内上覆岩层下压力的对抗,合成了强大的水平侧压力,促使地下水热液向两侧的孔隙层、弱接触带及构造破碎带运移,在运移过程中,溶滤了富集于第一层砂岩的铀,这些铀经过第二次迁移,在顶板玄武岩的局部地段富集,并在孔隙层和裂隙层内进行再分配,即贫化了广大区段又在部分地段再度富集,形成了各类型的似层状铀矿化。火山期后,大规模的火山活动停熄,但其残留的气、热仍有活动。随着次火山岩脉顺着构造裂隙发育部位侵位到玄武岩中,或者贯穿整个层位的花岗斑岩脉、石英斑岩脉的侵入,热源又将深部花岗岩中的铀再次带到花岗岩体的顶部,或再次改变原矿层的物理化学条件,使铀再次重新富集在脉岩周围,形成了花岗岩型及脉岩附近的富矿段,其成矿年龄约为103~86 Ma。

关于白面石矿田铀矿成因类型的新认识,无疑扩大了在该盆地内找矿的视野,即除了寻找砂岩中的火山热盖型铀矿外,还应寻找火山机构和基底花岗岩内斑岩脉旁侧的热液型富铀矿,从而提升白面石铀矿田的规模。

6 结 论

(1)白面石铀矿田存在2个成矿期:主成矿期为火山热盖期(160~156 Ma),第2成矿期为热液期(99~86 Ma)。在成因类型上,该矿田应为火山热盖及热液叠加的复成因矿床。

(2)白面石铀矿田的成矿具有“富铀的基底、砂岩的沉积、洼沟的地形、岩浆的热盖、脉岩的入侵”等5个有利条件;

(3)白面石铀矿田今后的找矿范围应扩大到该盆地内的火山机构以及基底花岗岩内岩脉的旁侧,寻找富大铀矿,以提升其规模。

参考文献/References

陈贵华,陈培荣,杨卫明. 2001. 南岭铀多金属成矿带赣南段构造-岩

浆演化及富大铀矿成矿条件分析[J]. 铀矿地质, 17(2): 129-136.

陈培荣,范春芳,孔兴功,章邦桐,钟启龙,易作凡. 2000. 6710 铀矿区火成岩的地球化学特征及其构造和成矿意义[J]. 铀矿地质, 16(2): 334-342.

董晨阳,赵葵东,蒋少涌,陈卫锋,陈培荣,凌洪飞,杨水源. 2010. 赣南白面石铀矿区花岗岩的锆石年代学、地球化学及成因研究[J]. 高校地质学报, 16(2): 149-160.

范洪海,何德宝,王凤岗,顾大钊,陈东欢,戎嘉树. 2009. 江西白面石铀矿田成矿机理研究[A]. 见:李冠兴,等. 中国核科学技术进展报告(第一卷)[C]. 中国核学会2009年学术年会. 北京:原子能出版社. 95-100.

方锡珩. 2009. 中国火山岩型铀矿的主要地质特征[J]. 铀矿地质, 25(2): 98-104.

付湘. 2002. 江西省5大铀矿田深部构造环境定位分析[J]. 铀矿地质, 18(1): 56-61.

孔兴功,陈培荣,章邦桐. 2000a. 赣南白面石盆地双峰式火山岩的Rb-Sr和Sm-Nd同位素特征[J]. 地质论评, 16(2): 186-189.

孔兴功,陈培荣,章邦桐. 2000b. 江西南部白面石-东坑盆地A型火山岩的确定及地质意义[J]. 地球化学, 29(6): 521-524.

章邦桐,陈培荣,孔兴功. 2003. 赣南白面石过铝花岗岩基底为6710铀矿田提供成矿物质的地球化学佐征[J]. 地球化学, 32(3): 201-206.

张万良. 2001. 白面石矿田的铀成矿特征[J]. 地质找矿论丛, 16(4): 257-261.

张万良,刘德长,李子颖,张景波. 2005. 江西安远热隆基本地质特征及其铀远景[J]. 矿产与地质, 19(2): 121-126.

张运涛,张小平,倪修义. 2010. 赣南火山岩型铀矿分布规律及找矿前景[J]. 铀矿地质, 26(1): 35-40.

钟启龙,张运涛,张小平,童日发,郭树英,李志明,温圣奇. 2011. 黄泥湖铀矿床地质特征及成因探讨[J]. 铀矿地质, 27(5): 282-285.

Chen P R, Hua R M, Zhang B T, Lu J J and Fan C F. 2002. Early Yanshanian post-orogenic granitoids in the Nanling region: Petrological constrains and geodynamic settings[J]. Science in China (Series D), 45(8): 755-768.

Hua R M, Chen P R, Zhang W L, Yao J M, Lin J F, Zhang Z S, Gu S Y, Liu X D and Qi H W. 2005. Metallogensis related to Mesozoic granitoids in the Nanling Range, South China and their geodynamic settings[J]. Acta Geologica Sinica, 79(6): 810-820.

Jiang Y H, Zhao P, Zhou Q, Liao S Y and Jin G D. 2011. Petrogenesis and tectonic implications of Early Cretaceous S- and A-type granites in the northwest of the Gan-Hang rift, SE China[J]. Lithos, 121: 55-73.