

武夷山成矿带铀金耦合机制研究—— 以江西坳子背矿床为例

成霖^{1,2}, 黄杰良^{1,2}, 庞文静^{1,2}, 汤君阳³

(1. 江西省地质局核地质大队, 江西 鹰潭 335000;
2. 江西省能源矿产地质调查研究院有限公司, 江西 南昌 330000;
3. 核工业二七〇研究所, 江西 南昌 330000)

摘要: 武夷山成矿带是中国重要的铀及多金属成矿带, 江西坳子背矿床位于武夷山成矿带河草坑铀矿田西北部, 为江西南部重要矿床之一。为探究武夷山成矿带江西坳子背矿床的铀金耦合机制, 在梳理前人勘探成果的基础上, 结合矿化关系、分布特征及物化探数据(伽马测量、²¹⁰Po 取样、磁法测量), 开展了系统分析。结果表明: 该矿床铀金耦合受成矿期次、构造-岩性等多要素控制, 第Ⅳ期铀矿化发育区为金元素高场复合区, 铀金品位呈正相关, 二者呈“同源同过程”强耦合; 而在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ期铀矿化区, 金矿化不明显; 伽马剩余值异常普遍与金异常、²¹⁰Po 异常、磁异常叠合, 多参数套合区为铀金共找最优靶区。本研究明确了坳子背矿床铀金成矿关联关系, 为武夷山成矿带同类矿床的铀金共找提供了理论支撑与实践依据。

关键词: 武夷山成矿带; 河草坑铀矿田; 坳子背矿床; 铀金成矿; 铀金耦合; 共生矿化; 成矿机制

中图分类号: P619.14; P618.51; P611 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2026)02-0012-11

DOI: 10.13426/j.cnki.yky.2025.12.07

河草坑矿田是武夷山成矿带内一个重要的铀多金属矿田。矿田内已探明7个铀矿床、4处铀矿点、16处铀矿化点, 并普遍伴生多种金属元素。其中, 坳子背矿床以其规模最大、矿化特征最典型, 成为该矿田的骨干矿床^[1]。坳子背矿床是以铀为主, 伴生金、铜、铅、锌的多金属矿床。前人已对铀金伴生矿开展了多方面、多角度的研究。在空间产出关系上, 铀矿床与金矿床伴生, 两者产出密切相关^[2]。其产出方式多有“同带异位”现象, 即铀矿体附近总是有金矿异常, 但在空间产出上金矿异常不与铀矿体重合^{[3]219}; 虽然空间产出上铀金不重合, 但铀品位与金品位呈正相关^[4], 反映出铀金矿的成因具有一定联系。在研究方法上, 针对铀金伴生矿体的研究方法主要有遥感技术、中子活化分析法、放射性测量方法、流体包裹体、地球化学、年代学等^[5-10]; 目前主流研究方法还是以地质勘查为基础, 结合物探测量、地

球化学和成岩成矿年代学, 构建多尺度、多参数的成矿模型^[11-12]。在成因上, 铀金成矿主要与岩浆作用、构造作用和淋滤作用有关, 成矿作用可以是单一的, 也可以是多种作用共同控制, 具体可分为主要受岩浆作用控制^[13-15]、受构造作用控制^[16-17]、受淋滤作用控制^[18], 以及多种作用共同控制^{[3]220}。目前, 对坳子背铀矿床有关铀金矿种之间的成因联系研究尚显薄弱, 因此深入探究该矿床中铀金之间的成矿关联具有重要意义。

本研究在系统梳理前人矿床勘探成果的基础上, 总结该矿床铀金成矿分布规律及两者之间的关系, 从矿化关系、空间展布及物化探数据(伽马测量、²¹⁰Po 取样、磁法测量)等方面, 分析该矿床的铀金成矿关联。在明确铀金矿化关系以及分布特征的基础上, 进一步研究铀矿区内铀金的协同成矿特征, 以期对铀矿区开展铀金找矿工作提供指导。

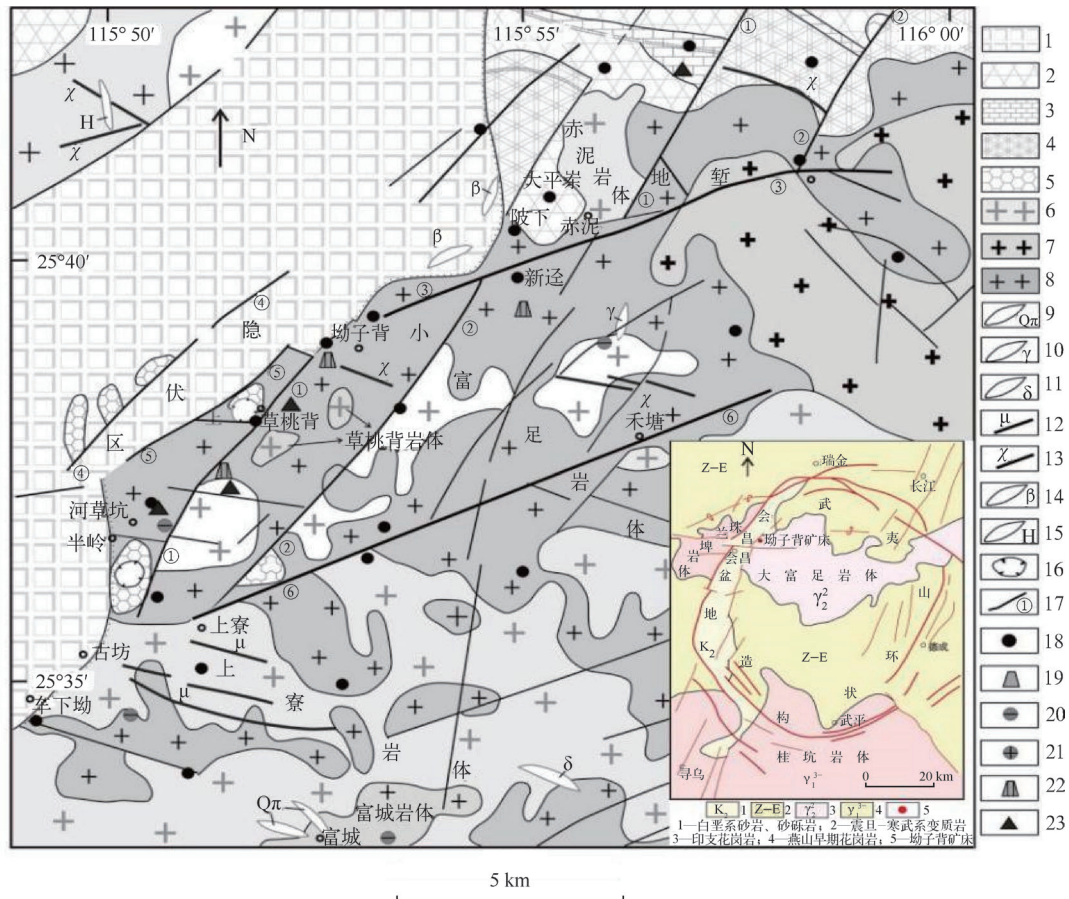
收稿日期: 2025-12-10; **修回日期:** 2025-12-31

基金项目: 江西燕山期高产热岩浆岩成岩成矿作用(2025JXDZKJKY01); 赣中北燕山期高产热花岗岩与锂稀有金属成矿作用研究(2024ZRBSHZ127)和赣鄱俊才·高层次高技能领军人才培养工程联合资助

1 区域地质背景

河草坑矿田地处武夷山成矿带中段偏南、华南板块的中部武夷山隆起带之上。其北被钦杭成矿带截断,南和南岭成矿带重叠,东邻永安—梅州

多金属成矿带,西接大王山—于山铀成矿带^[19-21],区域构造十分关键。坳子背矿床位于北北东向瑞金—寻乌深断裂与东西向大余—会昌构造带的复合部位,隶属于武夷山环状构造北西内环(图1),构造条件复杂。



- 1—白垩系上统砂岩;2—寒武系牛角河组变质岩;3—震旦系上统老虎塘组变质岩;4—震旦系上统变质岩;5—燕山期安山岩;
6—燕山期花岗岩;7—印支期细粒花岗岩;8—印支期粗粒花岗岩;9—石英斑岩;10—花岗岩脉;11—闪长岩脉;12—辉绿岩脉;
13—煌斑岩脉;14—玄武岩脉;15—石英脉;16—火山口;17—断裂构造(①柏竹窝断裂,②蛇行断裂,③坳子背-园段断裂,
④大面-半岭断裂,⑤松山排-上富断裂,⑥古坊-禾塘断裂);18—铀矿;19—萤石矿;20—铜矿;
21—稀土矿;22—铅锌矿;23—航空放射性异常。

图1 河草坑铀矿田地质图

Fig. 1 Geological map of Hecaokeng uranium field

2 矿床地质

坳子背矿床位于河草坑铀矿田草桃背矿床北3 km,中心点东经115°52',北纬25°39',是以铀为主,伴生金、铜、铅、锌的多金属矿床,南部和草桃背矿床毗邻,北部有陂下和新迳铀矿点(图1)。

矿床内主要出露大富足花岗岩体,该岩体为

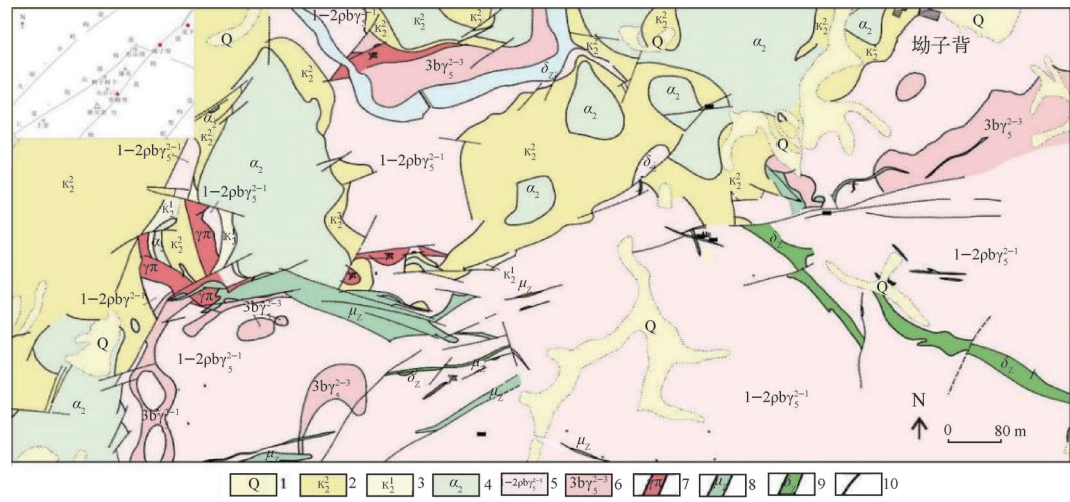
印支—燕山期复式花岗岩基,岩体总面积为1 100 km²,由粗中粒似斑状黑云母花岗岩(1—2 $\rho b\gamma_5^{1a}$)、中细粒斑状黑云母花岗岩(2—3 $\rho b\gamma_5^{2-1a}$)及细粒黑云母花岗岩(3 $b\gamma_5^{2-3a}$)组成,岩体内发育大量燕山早期晚阶段煌斑岩脉、花岗斑岩脉、白色块状石英脉,其侵入于震旦—寒武系内,被“会昌红盆”覆盖(图1)。岩基由小富足、上寮、赤泥、富城、草桃背5个岩体组成,均为

富硅、贫铁镁、高钾($K_2O>Na_2O$)、铝过饱和的钙碱性花岗岩。主体花岗岩 $\delta_{Eu}=0.09\sim0.35$, 平均 0.20, 属壳源岩石类型^[22-23], 显示正常 S 型花岗岩特征^[24]。

坳子背矿床主要位于小富足岩体内^[25]。小富足岩体岩性为中粗粒似斑状黑云母花岗岩。锆石 U-Pb 年龄(229 ± 6.8)Ma, 为印支期花岗岩^[26-27]。与细粒似斑状黑云母花岗岩呈渐变接触。小富足岩体平均铀品位 30×10^{-6} , 晶质铀矿占全岩铀的 7.2%, 主要造岩矿物(占全岩 91.46%)中铀品位为

24.69×10^{-6} 。

矿床主要有东西向和北北东向 2 组断裂构造(图 2)。东西向断裂构造形成较早, 主要有坳子背断裂、猫尖寨断裂等, 为多期活动的硅化破碎带, 倾向北, 走向延伸 1~2 km, 宽一至数米; 北北东向断裂构造主要有半岭断裂、上富—松山排断裂、柏竹窝断裂等, 为多期活动的硅化破碎带, 走向 30°左右, 倾向北西, 走向延伸可达 10 km 以上, 宽一至数米。上述 2 组断裂构造对火山活动, 铀金矿化均有重要控制作用。



1—第四系冲积堆积物;2—上白垩系紫红色砂岩夹粉砂岩;3—上白垩系紫红色砂砾岩;4—角闪安山岩;
5—中粗粒似斑状黑云母花岗岩;6—细粒黑云母花岗岩;7—花岗斑岩;8—拉辉煌斑岩;9—闪斜煌斑岩;10—硅化破碎带。

图 2 江西省瑞金市坳子背地区地质图

Fig. 2 Geological map of Aozibei, Ruijin City, Jiangxi Province

3 铀金成矿分布特征

在收集前人资料^[28-29]的基础上, 进行坳子背矿床铀金成矿分布特征研究, 并在此基础上分析铀金成矿关系。

3.1 铀金成矿分布特征

3.1.1 铀成矿分布特征

第Ⅰ期铀矿化产于基底花岗岩中, 受东西向硅化破碎带控制, 矿体数量多、分布广、规模小、品位低、矿体产状与基底构造一致。该期铀矿化在本区普遍存在, 特别在柏竹窝构造、上富—松山排构造夹持区尤为发育。

第Ⅱ期铀矿化产于火山口周围火山震碎带或爆发岩筒中, 受火山构造控制。矿体数量多、

垂幅大, 沿倾向长度大于沿走向长度, 品位中等, 矿群和富矿体常赋存于隐爆岩体和安山岩枝的“枝头”。该期铀矿化主要分布于草桃背火山口附近。

第Ⅲ期铀矿化产于隐爆砾岩、震碎花岗岩、构造破碎带中, 受氧化、还原界面控制, 矿体层数多、规模大、品位高、矿体形态奇特, 矿体边缘品位高、中心品位贫, 矿体产状平缓。该期铀矿化在草桃背矿床、河草坑铀矿床占有重要位置, 在坳子背铀矿床也有一定显示。

第Ⅳ期铀矿化产于安山玄武岩分布区及其附近, 如桐子树下、瀑布、松山排、坳子背矿床主矿段等地, 主要受北北东向构造控制, 安山玄武岩活动时期仍较活跃的东西向断裂构造

对其也有一定控制作用。矿化垂幅大,矿体规模小,品位跳跃性大,与金、铜矿化伴生。富集程度主要取决于构造破碎及岩石蚀变强弱程度。上富—松山排构造上盘“入”字形次级构造,特别是构造变异部位,坳子背矿床近东西向断裂构造与北西向煌斑岩脉交切部位等,都是良好的储矿空间。

3.1.2 金成矿分布

坳子背矿床金矿化受构造控制,在东西向、北北东向构造中均有出现,主要赋存在大构造旁侧(上盘)的次级构造中、构造尖灭部位、构造产状变化部位、构造穿切煌斑岩脉部位,以及两组或多组构造裂隙交切部位等。受大构造旁侧次级构造控制或受构造与煌斑岩脉交切部位控制的矿体呈小透镜状,受多组裂隙交汇部位控制者则呈团块状。透镜状矿体规模可达 $28\text{ m} \times 8\text{ m}$,但品位低,大多小于 1 g/t ;团块状矿体大小仅 2 m 左右,品位可达 10 g/t 。坳子背矿床金矿化岩石主要有硅化碎裂安山岩、硅化碎裂砂岩、碎裂煌斑岩及硅化碎裂花岗岩。岩石破碎,构造裂隙发育,沿构造裂隙充填细晶石英—多金属硫化物(黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿)脉、绿泥石脉,局部发育重晶石化、碳酸盐化。

坳子背地区坳子背矿床金元素分布见表1。从金异常在各地段的分布情况看,松山排构造及其附近、坳子背主矿段及其附近为主要分布区,其中坳子背主矿段55个、瀑布地段24个、松山排地段20个、桐子树下16个。

用地段金含量相对值指标综合评价金含量^{[10]296},其计算式为

$$I = \sum \left(\frac{C_{i,\text{local}}}{C_{i,\text{regional}}} \times W_i \right) \div \sum W_i,$$

其中: I 为金含量相对指标, $C_{i,\text{local}}$ 为本地段某岩类金含量底值、数值或均方差(10^{-6}), $C_{i,\text{regional}}$ 为全区某岩类金含量底值、数值或均方差(10^{-6}), W_i 为某岩类权重系数。岩类权值规定如下:大样(样数 $n \geq 30$)统计的底数值,其岩类权值为1;小样(样数 $n < 30$)统计的底数值,其岩类权值为 $n/30$ 。

各地段金含量相对值指标 I 有2个,即由底数值算得的 I_1 及由均方差算得的 I_2 ,其值大小见表1。可以看出,瀑布地段 I_1 值最大,达2.09;

黄田坑西部 I_1 值最小,为0.36。底数越高,对成矿越有利;方差越大,对成矿越有利。因此,可以用成矿有利度指标 $J(J = I_1 \times I_2)$ 来衡量成矿作用。

经统计, J 值较大的有瀑布地段(2.466)、老鸦亭(2.0719)和松山排(1.250), J 值较小的有黄田坑西部(0.187)和火山口北部(0.230)。从 J 值看,松山排构造及其附近,坳子背主矿段及其附近是成矿有利部位,而火山口、黄田坑西、大山头、坎下一带成矿有利性较差。对比各地段成矿有利度指标(J 值)及其异常样(样品中金品位大于 100×10^{-9})出现率,发现两者有极其密切的关系: J 值越大,异常样出现率越高; J 值越小,异常样出现率越低。据划分的13个地段统计, J 值与异常样出现率的相关系数为0.86($n=13$,可信度 $\alpha=0.05$ 时,临界相关系数值 $\gamma_0=0.51$)。

3.2 基于伽马测量、 ^{210}Po 取样、磁法测量数据的铀金矿化

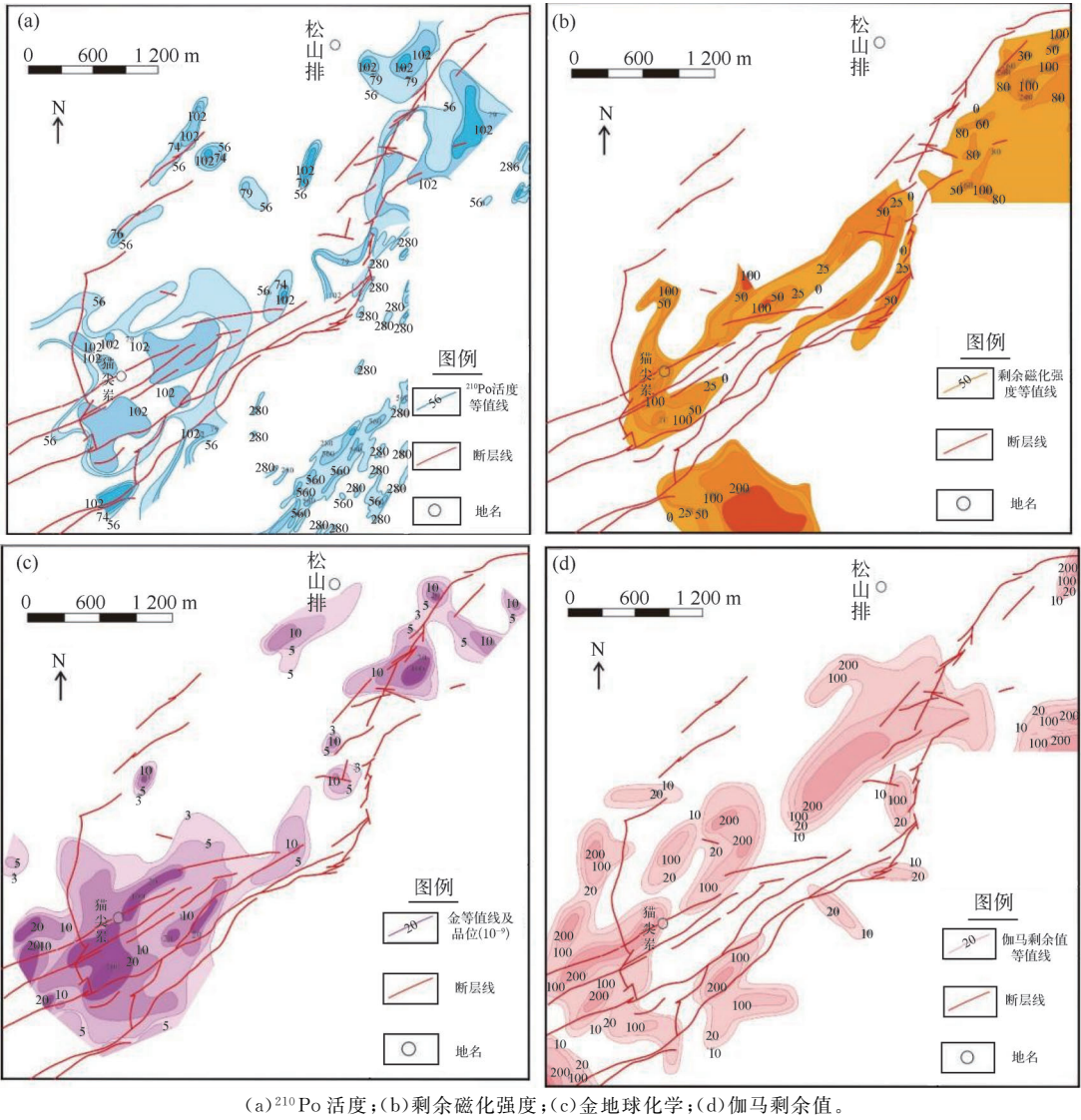
本区曾开展过大量伽马测量、 ^{210}Po 取样、磁法测量等工作^[28-29],前人研究认为,趋势面分析的伽马剩余值异常反映了地表铀元素富集区; ^{210}Po 异常对构造反映特别敏感;磁异常则与安山岩,特别是安山玄武岩关系较密切。

从坳子背地区金地球化学图、剩余磁化强度等值图、 ^{210}Po 密度等值图及伽马剩余值等值图(图3)可看出,伽马剩余值异常集中地段常同时伴有 ^{210}Po 异常、磁异常、金异常;单独有磁异常或金异常或 Po 异常的地段,很少有伽马剩余值异常存在。这一特点,反映出铀矿化与金矿化、构造、安山岩有密切的关系。

4 铀金矿化关系及耦合机制分析

4.1 坳子背矿床主矿段及瀑布地段铀金矿化

坳子背矿床含铀及非含铀岩石的金品位对比见表2。可以看出,主要铀矿化岩(煌斑岩)的金品位在坳子背矿床主矿段中最高,且该地段含铀矿岩石样品的金及其均值均高出不含铀岩石的2~6倍;其品位相关性也比较显著,坳子背主矿段KD-12、KD-15内的98个刻槽样,铀金品位相关系数 $\gamma_{\text{U-Au}}=0.329$,表明铀与金有着很好的正相关性。



(a) ²¹⁰Po 活度; (b) 剩余磁化强度; (c) 金地球化学; (d) 伽马剩余值。

图 3 坳子背地区物化探等值线图(据二六四大队调查结果^[28-29] 绘制)

Fig. 3 Contour map of geophysical and chemical exploration in Aozibei area(Revised by the 264th brigade^[28-29])

表 2 坳子背矿床含铀及不含铀岩石中金含量对比

Table 2 Au concentration in U-bearing and U-free rocks in Aozibei deposit

地段	岩性	铀矿化期次	含铀性	样品数/个	金品位/10 ⁻⁹	
					均值	方差
坳子背矿床主矿段	中粒花岗岩	第Ⅳ期	含矿	14	14.62	6.29
			不含矿	186	6.50	2.65
	硅化破碎带	第Ⅳ期	含矿	13	27.23	3.17
			不含矿	109	6.23	2.30
	煌斑岩	第Ⅳ期	含矿	123	37.28	6.13
			不含矿	153	6.95	3.31
瀑布地段	硅化安山岩	第Ⅳ期	含矿	18	54.15	3.89
			不含矿	38	22.52	3.64

4.2 松山排地段铀金矿化

将松山排 1170 号异常点的 99 个刻槽样,按 $w(U) \geq 0.05\%$ 、 $0.01\% \sim <0.05\%$ 、 $<0.01\%$ 分成 3 组,统计各组样品的金品位均值、方差,结果见表 3。可以看出, $w(U) \geq 0.05\%$ 的 5 个样品中,有 4 个样品金品位达 1 g/t 以上; $w(U)$ 为 $0.01\% \sim <0.05\%$ 的 17 个样品中有 6 个样品金异常,其中 4 个样品金品位达 1 g/t; $w(U) < 0.01\%$ 的 77 个样品中有 6 个样品金异常,其中 1

个样品金品位达 1 g/t 以上。铀金品位相关性比较显著,99 个刻槽样铀金品位相关系数 $\gamma_{U-Au} = 0.329$,Pearson 相关性系数为 0.708,表明铀与金有着很好的正相关性。

在空间上,该地段金异常发育于铀异常范围内,且均位于 $(\gamma + \beta)$ 铀异常晕圈内,工业铀矿化范围内也往往有高金异常(图 4)。表明金与铀的空间关系十分密切,在空间上铀、金矿化表现出很强的一致性。

表 3 坳子背矿床中不同品级铀样品中的金品位
Table 3 Au content in different U concentration units in Aozibei deposit

铀			金		
样数/个	品位/%	铀成矿期次	样数/个	品位均值/ 10^{-9}	品位均方差/ 10^{-9}
5	≥ 0.05	第Ⅳ期	4	1 767.14	18.18
17	$0.01 \sim <0.05$	第Ⅳ期	6	113.74	10.33
77	<0.01	第Ⅳ期	1	9.02	3.30

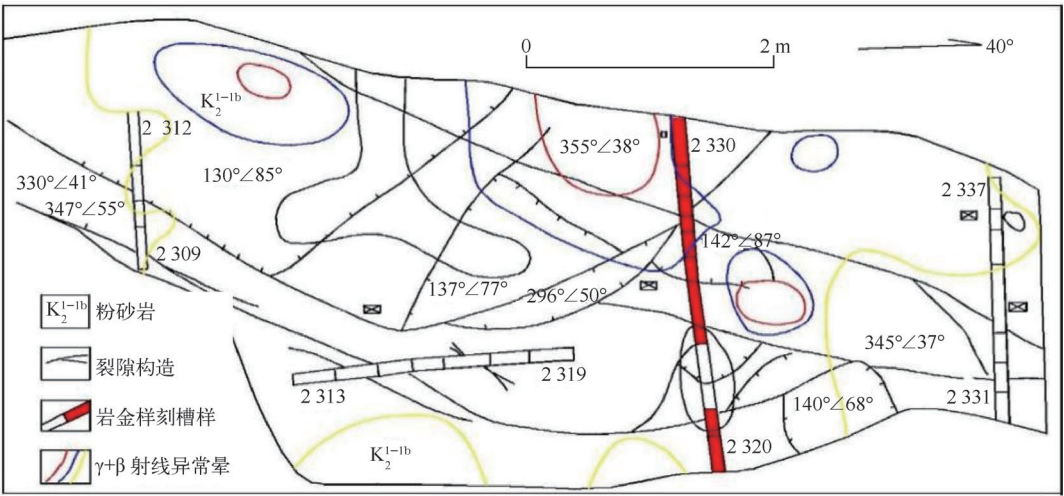


图 4 坳子背矿床松山排地段 BT10-2 素描图
Fig. 4 Sketch of BT10-2 in Songshanpai section of Aozibei deposit

4.3 上富及火山口地段铀金矿化

对上富及火山口地段 128 个铀矿心副样的组合样进行分析,其金品位一般为 $(2 \sim 4) \times 10^{-9}$,大于 10×10^{-9} 者极少,反映出这 2 个地段铀矿化与金矿化不相关。

4.4 坳子背矿床铀-金耦合机制

综上所述,在瀑布地段,松山排、桐子树下、坳子背主矿段等安山玄武岩分布区及其附近,即第Ⅳ期铀矿化发育区,金矿化作用与铀矿化存在密

切关系;而在火山口、上富等Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ期铀矿化分布区,铀矿富集成矿,但金矿化作用不明显。

在坳子背地区,铀矿化、金矿化、构造与安山岩呈现紧密的多要素耦合成矿关系。安山岩(含安山玄武岩)既是铀、金初始物质的载体(其铁磁性矿物对应磁异常,同时为铀金提供富集基础),又以原生裂隙为成矿提供了容矿空间。构造带则是成矿的核心纽带,²¹⁰Po 异常与断层的高吻合性,反映构造既作为含铀、含金热液的运移通道,

又通过物理化学环境的突变触发了铀、金的沉淀。而铀矿化与金矿化则表现为“同源同过程”的共生关系,二者依托安山岩-构造的耦合空间同步富集,最终形成了伽马剩余值、 ^{210}Po 、磁异常、金异常叠合的成矿区,这也解释了单一异常区难以发育铀矿化的特点。

武夷山成矿带坳子背矿床的铀-金耦合机制是成矿期次、构造-岩性、物质来源与流体作用多要素协同的结果,结合其地质背景、矿化特征及物化探数据可从多维度明晰。空间耦合方面,铀-金耦合呈现显著的“期次选择性”与“构造-岩性约束性”,第Ⅳ期铀矿化发育于安山玄武岩分布区及其附近,受北北东向与东西向断裂复合控制,与金矿化在空间上高度重叠形成强耦合;而Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ期铀矿化虽自身富集但金矿化极弱,且耦合区集中于安山玄武岩、煌斑岩等兼具容矿空间与物质基础的岩性中。矿物学与地球化学方面,矿床赋存于印支-燕山期大富足花岗岩体,该岩体为铀金提供同源物质供给,二者均形成于裂隙式火山活动期后中低温热液环境,第Ⅳ期含铀岩石金品位显著高于不含铀岩石,且铀金品位呈明显正相关,印证了“同源同过程”的共生关系。物化探异常方面,伽马剩余值异常与金异常强关联, ^{210}Po 异常反映构造运移通道作用,磁异常对应成矿岩性分布,强耦合区呈现多参数异常同步响应,弱耦合或无耦合区仅见单一异常;异常空间套合则呈现“核心-叠加-外围”三级结构,核心套合区多参数异常完全重叠,是铀金共找最优靶区,部分套合区成矿潜力中等,无套合区无明显金矿化价值。这一耦合机制为武夷山成矿带铀金共找提供了关键理论支撑,多参数异常套合区可作为优先勘查靶区。

5 结论

通过对坳子背地区铀金矿化特征、分布特点及相互关系的研究,形成如下主要认识:

1) 坳子背矿床铀金耦合受成矿期次、构造-岩性等多要素控制,第Ⅳ期铀矿化与金矿化呈“同源同过程”强耦合;而Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ期铀矿化无明显金矿化,且耦合区集中于安山玄武岩、煌斑岩等有利岩性中。

2) 伽马剩余值、 ^{210}Po 、磁异常与金异常的多参数套合特征,是铀金共找的关键依据,核心套合区为最优勘查靶区。研究结果为武夷山成矿带同

类矿床勘查提供了理论与实践支撑。

参考文献:

- [1] 张桂良,童日发,杨瑞栋,等.对河草坑铀矿田扩大找矿成果、建设铀矿大基地的思考[C]//中国核学会.中国核科学技术进展报告(第三卷):中国核学会2013年学术年会论文集:第1册.哈尔滨:[出版者不详],2013.
- [2] 成曦晖.辽东中生代岩浆活动及金铀成矿作用[D].北京:北京科技大学,2017.
- [3] 谭洪波.甘肃中川金铀矿床地质特征及成因讨论[J].东华理工大学学报(自然科学版),2009,32(3):219-225.
TAN Hongbo. Geological features and genesis of Zhongchuan U-Au deposit in Gansu Province[J]. Journal of East China University of Technology (Natural Science), 2009, 32(3): 219-225.
- [4] 赵宇安,刘海田,张伟波,等.奥林匹克坝铜-铀-金-银-稀土矿床最新研究[J].地质科技情报,2013,32(5):106-111.
ZHAO Yu'an, LIU Haitian, ZHANG Weibo, et al. New research progress of Olympic Dam copper-uranium-gold-silver-REE deposit[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(5): 106-111.
- [5] 黄志章,赵云龙,梁玉堂.中子活化法测定微量金在铀矿床研究和综合评价中的意义[J].核技术,1984(3):25-26.
HUANG Zhizhang, ZHAO Yunlong, LIANG Yutang. The significance of determining trace gold in uranium deposits using neutron activation analysis for research and comprehensive evaluation[J]. Nuclear Techniques, 1984(3): 25-26.
- [6] 陈家清.遥感技术与金铀找矿[J].遥感技术动态,1989(2):20-21.
CHEN Jiaqing. Remote sensing technology and gold-uranium exploration[J]. Remote Sensing Technology and Application, 1989(2): 20-21.
- [7] 黄从俊,李泽琴,王奖臻,等.拉拉铁氧化物-铜-金-铀矿床微量元素地球化学特征[J].地球科学进展,2012,27(S1):192-195.
HUANG Congjun, LI Zeqin, WANG Jiangzhen, et al. Trace element geochemical characteristics of lala iron oxide-copper-gold-uranium deposits[J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(S1): 192-195.
- [8] FUCHS S H J, SCHUMANN D, WILLIAMS-JONES A E, et al. Gold and uranium concentration by interaction of immiscible fluids (hydrothermal

- and hydrocarbon) in the Carbon Leader Reef, Witwatersrand Supergroup, South Africa[J]. Precambrian Research, 2017, 293: 39-55.
- [9] 钟福军, 吴玉, 王凯兴, 等. 四川拉拉铁氧化物-铜-金-铀矿床的铀成矿时代与成矿环境[J]. 地质学报, 2023, 97(5): 1478-1493.
- ZHONG Fujun, WU Yu, WANG Kaixing, et al. Geochronology and environment of uranium mineralization in the lala iron oxide-copper-gold-uranium deposit, Sichuan Province[J]. Acta Geologica Sinica, 2023, 97(5): 1478-1493.
- [10] YAN Z B, ZHANG W W, XIA F, et al. Uranium pre-concentration in sandstone-hosted U deposits: A case study from the Hailijin ore field, SW Songliao Basin, NE China[J]. Ore Geology Reviews, 2023, 161: 291-307.
- [11] 张玉龙, 辛存林, 席甲平. 甘肃省东部中川岩体内外带铀金成矿规律及其找矿判据[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2007, 43(6): 7-12.
- ZHANG Yulong, XIN Cunlin, XI Jiaping. U-Au metallogenic pattern and prospecting criteria inside and outside zone of Zhongchuan rock mass in East Gansu Province[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2007, 43(6): 7-12.
- [12] 杜化宇, 李晓禄, 伍显红. 放射性测量方法在马鬃山地区铀金找矿中的应用效果[J]. 物探与化探, 2018, 42(4): 697-702.
- DU Huayu, LI Xiaolu, WU Xianhong. The effect of radioactive measurement for uranium and gold prospecting in Mazong Mountain area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(4): 697-702.
- [13] T UTTER, 黄伯钧. 威特沃特斯兰金、铀矿床(南非)中矿石颗粒的浑圆化是其碎屑成因的一个标志[J]. 地质地球化学, 1981(4): 29-30.
- UTTER T, HUANG Bojun. The rounding of ore grains in the Witwatersrand gold and uranium deposits (South Africa) is a characteristic of their clastic origin[J]. Geology-Geochemistry, 1981(4): 29-30.
- [14] 聂凤军, 江思宏, 刘翼飞, 等. 碱性岩浆活动与铜、金和铀成矿作用[J]. 矿床地质, 2010, 29(S1): 247-248.
- NIE Fengjun, JIANG Sihong, LIU Yifei, et al. Alkaline magmatism and the mineralization of copper, gold and uranium[J]. Mineral Deposits, 2010, 29(S1): 247-248.
- [15] CHAKRAVADHANULA M, N ARESH C G, SOHINI G, et al. Gold, uranium, thorium, and rare earth mineralization in the Kadiri Volcanic Province of Eastern Dharwar Craton, India: An evaluation of mineralogical, textural, and geochemical attributes[J]. Geological Journal, 2020, 56(1): 359-381.
- [16] 张子敏. 列赫京构造的含铀性和含金性[J]. 国外铀金地质, 2001(3): 145-153.
- ZHANG Zimin. Uranium and gold mineralization of the Lehejing structure[J]. Foreign uranium-gold geology, 2001(3): 145-153.
- [17] KULESHEVICH L V, LAVROV O B. Mineral-geochemical features of paleoproterozoic gold-copper-sulfide, noble metal-copper-uranium, and noble-metal-copper-uranium-vanadium deposits and ore occurrences of Karelia[J]. Geology of Ore Deposits, 2022, 64(3): 123-143.
- [18] 宋昊, 张成江, 倪师军, 等. 西秦岭白龙江地区地质构造演化与金铀成矿[J]. 地质论评, 2015, 61(S1): 532-533.
- SONG Hao, ZHANG Chengjiang, NI Shijun, et al. Geological structure evolution and gold-uranium metallogeny in the Bailong River area of the Western Qinling[J]. Geological Review, 2015, 61(S1): 532-533.
- [19] 戴民主. 江西省铀矿资源潜力及其找矿方向[J]. 东华理工学院学报, 2006, 29(S1): 12-19.
- DAI Minzhu. Uranium resources potential and its prospecting direction in Jiangxi Province[J]. Journal of East China Institute of Technology, 2006, 29(S1): 12-19.
- [20] 毛建仁, 叶海敏, 赵希林, 等. 武夷山成矿带构造-岩浆-成矿作用与演化[J]. 矿床地质, 2010, 31(S1): 140-144.
- MAO Jianren, YE Haimin, ZHAO Xilin, et al. Tectonics-magmatism-mineralization processes and evolution of the Wuyishan mineralization belt[J]. Mineral Deposits, 2010, 31(S1): 140-144.
- [21] 唐湘生, 聂斌, 李嘉. 武夷山成矿带铀成矿特征与找矿方向[J]. 铀矿地质, 2011, 27(2): 69-73.
- TANG Xiangsheng, NIE Bin, LI Jia. Uranium metallogenic characteristics and exploration direction of Wuyishan metallogenic belt[J]. Uranium Geology, 2011, 27(2): 69-73.
- [22] 章邦桐, 陈培荣, 杨东生, 等. 过铝花岗岩基底对成矿物质贡献的地球化学证据: 以富城过铝花岗岩体及 6722 铀矿床为例[J]. 中国科学(D 辑: 地球科

- 学),2002(9):735-741.
- ZHANG Bangtong, CHEN Peirong, YANG Dongsheng, et al. Geochemical evidence for the contribution of peraluminous granite basement to ore-forming materials: A case study of the Fucheng peraluminous granite and the 6722 uranium deposit[J]. Science in China(Series D), 2002(9):735-741.
- [23] 张万良. 赣南大富足岩体岩石地球化学特征及其构造环境判别[J]. 大地构造与成矿学, 2006(1): 98-107.
- ZHANG Wanliang. Petrogeochemistry and tectonic environment of Dafuzu rock mass in southern Jiangxi Province [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2006(1):98-107.
- [24] 周新民. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化[M]. 南京:南京大学, 2005.
- [25] 张运涛, 张小平, 裴荣富, 等. 赣南大富足花岗岩体西部铀成矿条件及找矿前景[J]. 矿床地质, 2012, 31(2):369-379.
- ZHANG Yuntao, ZHANG Xiaoping, PEI Rongfu, et al. Uranium metallogenic condition and ore-search prospect of western Dafuzu massif in southern Jiangxi Province[J]. Mineral Deposits, 2012, 31(2):369-379.
- [26] 于津海, 王丽娟, 王孝磊, 等. 赣东南富城杂岩体的地球化学和年代学研究[J]. 岩石学报, 2007(6): 1441-1456.
- YU Jinhai, WANG Lijuan, WANG Xiaolei, et al. Geochemistry and geochronology of the Fucheng complex in the southeastern Jiangxi Province, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007(6): 1441-1456.
- [27] 章邦桐, 陈培荣, 杨东生, 等. 赣南中生代橄榄玄粗岩系列厘定的地质证据[J]. 地质学报, 2001(2): 213-220.
- ZHANG Bangtong, CHEN Peirong, YANG Dongsheng, et al. Geological evidence for determination of mesozoic shoshonite rock series from southern Jiangxi Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2001(2):213-220.
- [28] 江西省核工业地质局二六四大队. 江西省瑞金县坳子背外围详查地质工作总结报告[R]. 赣州:江西省核工业地质局二六四大队, 1989.
- [29] 江西省核工业地质局二六四大队. 江西省瑞金县坳子背矿床地质工作总结报告[R]. 赣州:江西省核工业地质局二六四大队, 1988.

Uranium-Gold Coupling Mechanism in Wuyishan Metallogenic Belt: A Case Study of the Aozibei Deposit, Jiangxi Province

CHENG Lin^{1,2}, HUANG Jieliang^{1,2}, PANG Wenjing^{1,2}, TANG Junyang³

(1. Nuclear Geology Brigade of Jiangxi Provincial Geological Bureau, Yingtan 335000, China;

2. Jiangxi Energy and Mineral Geological Survey and Research Institute Co., Ltd., Nanchang 330000, China;

3. Nuclear Industry 270 Research Institute, Nanchang 330000, China)

Abstract: The Wuyishan metallogenic belt is an important uranium and polymetallic metallogenic belt in China, and the Aozibei deposit in Jiangxi Province, located in the northwestern part of the Hecaokeng uranium ore field within this belt, is one of the key deposits in southern Jiangxi. To investigate the uranium-gold coupling mechanism of the Aozibei deposit, this study conducts a systematic analysis based on a comprehensive review of previous exploration achievements, integrated with mineralization relationships, distribution characteristics, and geophysical-geochemical exploration data including gamma-ray surveys, ^{210}Po sampling, and magnetic surveys. The results indicate that the uranium-gold coupling in this deposit is controlled by multiple factors such as mineralization stages and structure-lithology. The uranium mineralization zone of phase IV is a composite high-field area for gold, with a positive correlation between uranium and gold grades, reflecting a strong “cogenetic and syn-process” coupling. In contrast, gold mineralization is not significant in the uranium mineralization zones of phases I, II, and III. Gamma-ray residual anomalies often overlap with gold anomalies, ^{210}Po anomalies, and magnetic anomalies, and the multi-parameter overlapping areas are identified as the optimal target zones for combined uranium and gold exploration. This study clarifies the metallogenic association between uranium and gold in the Aozibei deposit, providing theoretical support and practical basis for the combined exploration of uranium and gold in similar deposits within the Wuyishan metallogenic belt.

Key words: Wuyishan metallogenic belt; Hecaokeng uranium ore field; Aozibei deposit; uranium-gold mineralization; uranium-gold coupling; paragenetic mineralization; metallogenic mechanism