

鹿井铀矿田成矿地质特征及成因

张万良, 吕 川, 韦金文

(核工业 270 研究所, 江西 南昌 330200)

1 区域地质背景

鹿井矿田位于南华活动带武功-诸广断隆区, 诸广复式岩体中段。区域上受南北向万洋-诸广隆起、东西向九峰-内良隆起和北东向万长山隆起联合控制, 诸广山岩体呈“亚铃”式大型岩基产出, 出露面积达 2500 余平方千米, 是南岭中段花岗岩的重要组成部分, 也是南岭有色金属重要成矿花岗岩体之一。岩体内外接触带附近分布有广东凡口特大型铅锌矿床、湖南小桓大型钨锡矿床、广东龙颈中-大型钨矿床以及江西丰洲—广东南雄一带的大-特大型铀矿床等。

矿田内分布的诸广山岩体为印支期第二阶段中粗粒似斑状黑云母二长花岗岩, 次为印支期第一阶段细粒、中细粒白(二)云母花岗岩残留体; 另有印支期第三阶段中细粒二云母二长花岗岩、燕山早期中粗粒二云母二长花岗岩、细粒少斑黑云母二长花岗岩和燕山晚期中细粒白(二)云母花岗岩及石英斑岩、花岗斑岩、细晶岩、辉绿岩、煌斑岩等脉岩。

岩体近外围分布震旦—奥陶系(缺志留系)加里东期褶皱地槽型构造层, 主要有寒武系香楠组和茶园头组。香楠组主要由黑色碳质板岩组成, 次为砂质板岩、硅质板岩、长石石英砂岩、石英砂岩及少量硅质岩、灰岩。茶园头组以厚-巨厚层长石石英砂岩、石英砂岩、细砂岩为主。岩体内部局部分布上白垩统至古近系陆相构造层, 岩性主要为红色砾岩、砂砾岩, 不整合覆盖于寒武系或花岗岩体之上, 红层厚度>360 m, 产状由四周向中心倾斜, 倾角一般为 10~15°。

遂川-热水断裂带的遂川断裂与热水断裂的叠接区控制了鹿井矿田定位, NE 向硅化断裂带构成矿田基本构造格架。硅化断裂带经历了 3 阶段演化: ① 早白垩世北东向左行走滑破裂; ② 晚白垩世—古近纪伸展裂开, 硅质矿质交代、充填, ③ 新近纪—第四纪正断滑移。

2 铀矿类型

鹿井矿田内铀矿床无论产于何种围岩中, 成因上和空间上均与花岗岩体有着密切关系, 均属花岗岩型铀矿床。根据矿床与花岗岩体的空间分布关系可分为: 产于花岗岩体内的铀矿床和花岗岩外接触带型铀矿床两类。

岩体内部铀矿床, 根据赋矿岩石物质成分、岩性及结构构造特点, 可进一步分为硅质脉型及碎裂蚀变岩型。属于硅质脉型的有羊角脑矿床及下古选矿点; 属于碎裂蚀变岩型的矿床有牛尾岭、枫树下、洞房子、高昔、黄蜂岭、下洞子矿床。

碎裂蚀变岩型的矿石组合类型有: 沥青铀矿-硫化物-绿泥石型, 沥青铀矿-棕色玉髓-硫化物型, 沥青铀矿-萤石型, 沥青铀矿-赤铁矿型(红化型), 沥青铀矿-赤铁矿-萤石型, 沥青铀矿-水云母粘土型。

花岗岩外接触带亚型铀矿床有鹿井、梨花开和沙坝子矿床。鹿井矿床可分 2 种矿化类型, 矿床东部矿体赋存于浅变质岩中, 属外接触带亚型; 矿床西部矿体主要赋存于花岗岩体中, 属岩体内部铀矿床, 部分矿体产于浅变质岩中, 同一矿体自上而下可穿过寒武系及花岗岩, 具“三层楼”式矿化特点。

3 铀矿化特征

3.1 矿体形态规模

花岗岩外带型铀矿床矿体受断裂、接触带、含矿层位控制, 如鹿井矿床矿体产状与断裂及接触带产状一致, 沙坝子矿床矿体与断裂、地层产状一致, 梨花开矿床矿体与断裂产状一致。各矿体呈北东-北东东、南北、北西等多方向展布, 倾斜度陡缓不一, 鹿井矿床 7 个主要矿体和沙坝子矿床 4 个主要矿体, 规模较大, 矿体延伸稳定, 形态多呈透镜脉状、似层状, 空间组合型式呈干字形、T 字形等。沙坝子矿床矿体呈等间距分布, 矿床平均品位 0.25%, 37 个矿体中有 16 个富矿体(平均品位>0.3%), 储量占矿床总储量 76%。鹿井矿床已探明富矿占提交矿床总储量的 25%, 品位 0.32%~0.53%, 矿石类型为铀-萤石型。据 719 矿开采资料证实, 1 号矿体和 5 号矿体北部 192~142 m 中段为富矿段, 长 60 m, 厚 8~10 m, 品位 0.6%~0.7%, 1 号矿体南部, 品位达 0.3%~0.4%, 一般厚 8~9 m, 鹿井矿床西部矿体向深部有品位增高、规模增大态势。

花岗岩体内部铀矿床受含矿断裂控制, 矿体产状与含矿断裂一致, 多呈北东或北北东向展布, 陡倾斜为主。矿体形态多

呈透镜状、脉状及不规则团块状。单个矿体规模不大，多成群成组分布，雁形排列。主矿体少，如高昔矿床圈定矿体 400 个，其主要矿体 15 个，储量占总储量 50% 以上，其中 Pt1、Pt22 个矿体规模最大。牛尾岭矿床共圈定 92 个矿体，主矿体仅 2 个，矿体平均品位在 0.05%~0.10% 之间，仅羊角脑矿床见富矿体，其储量占矿床总储量 63%。

3.2 矿石特征

矿石矿物成分：金属矿物为沥青铀矿、铀石（沙坝子矿床）、赤铁矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、砷黝铜矿、磁黄铁矿（沙坝子）。脉石矿物为萤石、微晶石英、方解石（沙坝子）、绿泥石、水云母，次生铀矿物为铀黑、硅钙铀矿、铜铀云母、钙铀云母等。沥青铀矿呈葡萄状、胶状、细小球粒状、细脉浸染状等，可见沥青铀矿交代黄铁矿。

矿石化学类型绝大多数为硅酸盐型，少量为碳酸盐型（沙坝子矿床灰岩矿石）。硅酸盐矿石又可细分为硅化矿石、低硅矿石，前者如鹿井矿床东部含碳长石砂岩矿石、石英长石砂岩矿石、碳质板岩矿石及矿床西部花岗岩中矿石等，后者如黄峰岭、高昔矿床碱交代岩矿石， SiO_2 含量 60.27%~67.74%，低于围岩（73.17%~73.57%）。沙坝子矿床萤石化硅质板岩矿石也为低硅矿石， SiO_2 含量 62.4%， CaF_2 1%，围岩 SiO_2 76.54%。

岩体外接触带铀矿床富矿石中微量元素高于贫矿石，如 Pb、Cu、Sn、Y、Ga、Mo、Co、Ni、Cr、V 等，特别是富矿石中 Co、Ni、Cr、V 含量高出贫矿石几倍至几十倍。岩体内部的牛尾岭、黄峰岭矿床矿石中 Co、Ni、Cr 含量也较高。但各矿床矿石中均无可综合利用元素。

3.3 成矿年龄

鹿井矿田成矿年龄为 47~116.4 Ma 左右（中国核工业地质局中南铀矿地质志编写组，2005；吕古与，2000），成矿可能为一相对连续的过程，成矿年龄与丰州盆地发育时间大致相同，与晚白垩世和古近纪的伸展构造背景有关。

3.4 成矿温度、成矿压力

各矿床矿前期石英、成矿期紫黑色萤石、方解石及矿后期浅色萤石、方解石包裹体均一法测温结果（表 1）表明，从矿前期→成矿期→矿后期，温度逐渐降低，成矿期紫黑色萤石温度区间为 130~270℃，方解石温度区间为 112~250℃，属中低温。矿石中主要金属矿物黄铁矿和沥青铀矿均具典型胶状低温结构，可见矿田成矿温度为中低温，成矿压力为 $152 \times 10^5 \text{ Pa}$ ~ $507 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

表 1 鹿井矿田包裹体测温数据

矿床	矿前期		成矿期		矿后期	
	测试矿物	温度区间/℃	测试矿物	温度区间/℃	测试矿物	温度区间/℃
鹿井	石英	220~250	紫黑色萤石	130~160	浅色萤石	100~150
牛尾岭	石英	220~330	紫黑色萤石	104~270	浅色萤石、方解石	95~250(平均值 114)
高昔	石英	180~310	紫黑色萤石	197~242	浅色萤石、方解石	119~220
黄峰岭	石英	186~242	紫黑色萤石	156~196	浅色萤石	55~133
沙坝子			方解石	112~250		

资料来源：中国核工业地质局中南铀矿地质志编写组《中南铀矿地质志》（2005）

4 热液蚀变特征

热液蚀变对铀成矿富集作用有着多方面的影响，它能改变围岩的物理-力学性质，为成矿溶液的运移和矿质沉淀提供必要通道和容矿空间，也可改变围岩中铀的存在形式，使活动铀含量增高，有利于铀的活化转移并为成矿溶液提供铀源，它还可成为成矿物质的沉淀固定提供有利的地球化学环境和固铀剂（章邦桐等，1990）。

矿田热液蚀变可分矿前期、成矿期和矿后期。矿前期热液蚀变有白云母化、碱性长石化、绿泥石化、硅化、电气石化。碱性长石化可细分为钾长石化和钠长石化，钾长石化发育较早，钠长石化形成较晚。空间上部以钾交代为主，下部以钠交代为主。成矿期热液蚀变主要有赤铁矿化、水云母化、硅化、黄铁矿化（胶状）、萤石化、碳酸盐化、绿泥石。矿后期热液蚀变不发育，主要有硅化、碳酸盐化、萤石化。

区内花岗岩自变质作用强烈，岩石普遍白云母化，大多发生在岩体顶托部位和不同期次花岗岩侵入界面附近。白云母化过程中，原岩中黑云母中所含副矿物（锆石、独居石、磷灰石等）明显减少或消失，副矿物中类质同像存在的铀发生活化转移，形成后生品质铀或裂隙铀、粒间铀，而有利于铀的活化转移和再沉淀。黑云母是花岗岩中分布最广、铀含量较高的成矿元素载体矿物（章邦桐，1994），其平均铀含量为 6.98×10^{-6} ，而白云母的平均铀含量为 1.14×10^{-6} ，亦即在黑云母的白云母化过程中约有 84% 的铀将从黑云母中释放出来（龚温书等，1986）。尽管本区白云母化花岗岩中只有 3% 黑云母被白云母交代，但在整体上其铀量释放相当可观。

碱交代作用是鹿井矿田又一重要的自变质作用蚀变类型，主要分布于印支期花岗岩中，靠上部是钾长石化，靠下部距燕山期花岗岩较近时，则是钠长石化，两者无明显界线。碱交代岩同位素年龄为 98 Ma（杜乐天，2001），形成温度 210~450℃。碱交代作用使岩石铀含量增高，新鲜原岩中粗粒斑状黑云母花岗岩铀含量为 15×10^{-6} ，钾长石化花岗岩铀平均含量可达

57×10^{-6} , 钾交代使岩石铀含量增高 3~4 倍。

5 成因探讨

诸广山花岗岩体是一个发育在特提斯-古亚洲构造域变质基底之上的多期复式岩体, 经历了从晚三叠世至侏罗纪末的连续演化过程。马铁球等 (2006) Sr、Nd 同位研究成果表明, 诸广山花岗岩体 Is 值较大, 大于 0.7115 (平均 0.7167), $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{t})$ 值平均为 167.70 (74.44~265.43), $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{t})$ 值较小, 平均为 -10.97 (13.0 ~ -10.0), tZDM 较大, 平均为 1.84 Ga (1.75~2.0 Ga); tZDM 年龄与中国华南中生代花岗岩相同 (1.7~2.0 Ga)。Sr、Nd 同位素示踪表明, Sr、Nd 同位素组成与大陆地壳平均值相近 (0.719)。全岩氧同位素 $\delta^{18}\text{O}=9.05\% \sim 12.0\%$ (SMOW), 因此可以推测花岗岩体主要是由古元古代陆壳物质改造形成。

矿田内主要出露印支期第二阶段花岗岩, 次为燕山早期第二、三阶段花岗岩。

表 2 各期次花岗岩 U、Th 含量及 Th/U、U 浸出率

侵入时代			样品数	铀含量		钍含量		钍铀 比值	铀浸 出率/%
期次	阶段	代号		变化范围/ 10^{-6}	平均值/ 10^{-6}	变化范围/ 10^{-6}	平均值/ 10^{-6}		
印支期	第二阶段	γ_5^{1-2}	68	4~38	19.6	8~44	20.6	1.05	38.4
燕山早期	第二阶段	γ_5^{2-2}	4	14~29	20.5	8~34	23.3	1.14	37
	第三阶段	γ_5^{2-3}	15	7~45	20.5	10~63	37.8	1.84	
燕山晚期	第一阶段	γ_5^{3-1}	5	6~29	15.6	3~6	4.5	0.29	

从表 2 可见, 各期各阶段岩体铀含量较高, 均高于华南改造型产铀花岗岩的平均铀含量 (11.66×10^{-6}), 矿田内各期次花岗岩体均具有提供铀源的物质基础。岩体的放射性元素含量高, 在岩体内或近外围形成了区域性的较持久的放射性高热场 (李建威等, 2000a), 直到早白垩世, 在区域走滑背景下, 岩石变形破裂, 导致了区域地热场的破坏。特别是到了晚白垩世或古近纪, 地壳伸展裂陷, 岩石破裂后张开, 由于热液处于炎热、干旱的气候背景, 氧化作用较强烈, 岩石中 U^{4+} 易于转变成 U^{6+} , 在岩石中流动的热液可不断活化、汲取岩石中的 U, 并在热驱动下沿断裂构造、水力压裂破碎带及岩性界面等部位运移, 成矿溶液的成份包括 HCO_3^- 、 F^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等阴离子和 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 等阳离子, 气相由 CO_2 、 CH_4 、 H_2 、 CO 、 N_2 所组成, 铀的迁移形式可能是 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ 或 $\text{UO}_2\text{F}_4^{2-}$ (李建威等, 2000b), 当迁移中的热液的物化条件发生改变时, 如压力骤减, CO_2 逸失, 突遇地球化学障, 大量 Ca^{2+} 进入含铀溶液, 碳酸铀酰离子、氟合铀酰离子解体, U^{6+} 被 S^{2-} 和 Fe^{2+} 等还原剂还原为 U^{4+} , 在方解石、萤石等脉石矿物相继形成时, 形成沥青铀矿沉淀。

参考文献

- 杜乐天. 2001. 中国热液铀矿基本成矿规律和一般热液成矿学[M]. 北京: 原子能出版社. 26-29.
- 龚温书, 何伟良, 何通俊. 1986. 华南 T 岩体白云母化与铀活化的关系[J]. 铀矿地质, 2(3):145-151.
- 李建威, 李紫金, 傅昭仁, 李先福. 2000a. 遂川-热水走滑断裂带热异常与热液成矿作用[J]. 地质科技情报, 19(3):39-43.
- 李建威, 陈小东, 李紫金, 傅昭仁. 2000b. 鹿井铀矿床成矿流体演化的地球化学模拟[J]. 铀矿地质, (3): 266-273.
- 吕古与. 2000. 诸广山岩体中生代岩浆演化与铀成矿[J]. 中南铀矿地质, (1): 17-20.
- 马铁球, 邝 军, 柏道远, 王先辉. 2006. 南岭中段诸广山南体燕山早期花岗岩地球化学特征及其形成的构造环境分析[J]. 中国地质, 33(1):119-131.
- 章邦桐, 吴俊奇, 丘志力, 等. 1990. 论热液蚀变与铀成矿富集作用的关系[J]. 地质论评, 36(3):238-245.
- 章邦桐. 1994. 华南花岗岩中铀活动转移的地球化学证据[J]. 地球化学, 23(2): 161-167.
- 中国核工业地质局中南铀矿地质志编写组. 2005. 中南铀矿地质志[R]. 内部资料