

甘肃红石泉铀矿床伟晶状白岗岩地质特征及其指示意义

杨春四^{1,2,3}, 张树明^{2*}, 戚佳伟², 蓝德初², 陈华勇¹

(1. 中国科学院广州地球化学研究所 矿物学与成矿学重点实验室, 广东 广州 510640;

2. 东华理工大学 省部共建核资源与环境国家重点实验室培育基地, 江西 南昌 330013;

3. 中国科学院大学, 北京 100049)

红石泉地区位于甘肃省山丹县境内, 大地构造位置隶属于华北地台的西南缘, 阿拉善台隆南缘之北西向龙首山拱断带的西段(汤中立和白云来, 1999), 是祁连-秦岭铀成矿省之祁连-龙首山铀成矿带重要组成部分(黄净白和黄世杰, 2005)。该区发育有我国典型的伟晶状白岗岩型铀矿床——红石泉铀矿床, 前人对该区开展一定的地质找矿和科研工作, 但对伟晶状白岗岩的研究较为薄弱。本文选取白岗岩作为研究对象, 通过野外地质调查、岩相学、主量元素、微量元素、稀土元素、Sr-Nd-Pb 同位素等方法手段, 系统研究了其岩相学、地球化学等特征, 并在此基础上阐述其指示意义。

1 野外地质和岩相学

伟晶状白岗岩侵入于红石泉复式向斜北翼的倒转背斜核部附近的龙首山群和石英闪长岩—斜长花岗岩中, 上覆石炭系地层。伟晶状白岗岩体呈近东西向展布, 受 NW 向断裂控制, 倾向北, 倾角中等。岩体东西长 3 km, 南北宽 100~300 m 不等, 以岩枝的形式出露地表, 出露面积约 0.28 km² (杨春四等, 2017)。厚度沿走向和倾向均有变化, 在矿床中段伟晶状白岗岩厚度比较大, 矿床的品位也较高, 矿床东西两段相对较薄, 成矿品位也相对较差, 岩体中有较多大小不等、形态各异的变质岩残留体和捕虏体。主要是岩体式矿化, 界限不明显, 岩体在边部多顺层或切层穿入围岩。

伟晶状白岗岩多呈灰白色, 风化面局部为浅黄色-浅黄略带褐色调, 局部受赤铁矿化及绿泥石化蚀变影响, 常呈现出不同程度红色、褐色或灰黑色。岩石中矿物粒度极不均匀, 结构混杂, 伟晶-粗粒-中粒结构均有发育, 整体呈中粗粒不等粒结构, 块状构造。伟晶状白岗岩主要矿物为钾长石和石英, 次要矿物为斜长石、白云母±黑云母(1%~2%), 副矿物为锆石±黄铁矿, 偶见赤铁矿、榍石、金红石、磷灰石等。

2 岩石地球化学

主量元素方面, 岩石具有富硅(SiO₂=66.81%~77.81%)、富碱(ALK=7.46%~10.36%), 贫铁(TFe₂O₃=0.62%~6.46%)、贫钙(CaO=0.24%~2.03%)、贫镁(MgO=0.29%~1.57%), 弱过铝质(A/CNK=0.90~1.19)特征; 相对富钾(K₂O/Na₂O=2.02~3.30)、富集 FeO(Fe₂O₃/FeO=0.22); A.R.=3.46~5.88, DI=89.92, σ=1.73~4.17; TFe₂O₃、CaO、MgO、Al₂O₃ 与 SiO₂ 负相关, DI 与 SiO₂ 正相关。

微量元素方面, 具有相对富集 Rb、Th、U、La、Ce、Nd、Zr、Hf, 相对亏损 Ba、Sr、Nb、Ta、P、Ti、Eu 元素的特征; U(6.59×10⁻⁶~87.8×10⁻⁶)、Th(1.58×10⁻⁶~36.9×10⁻⁶) 含量尤其偏高; 微量元素比值 Nb/Ta=10.89~22.58, Zr/Hf=24.94~33.82, Rb/Sr=0.44~3.54, 均高于大陆地壳平均值; 微量元素异常值 Th*=0.53~4.17、Nb*=0.17~1.79、Zr*=0.59~9.68, 暗示来源为壳源物质。

稀土元素方面, 稀土总量∑REE=87.42×10⁻⁶~305.02×10⁻⁶, 轻稀土总量 LREE=74.56×10⁻⁶~276.56×10⁻⁶, 重稀土总量 HREE=14.14×10⁻⁶~56.56×10⁻⁶; LREE/HREE=1.61~13.63, LaN/YbN=1.51~16.29, 轻稀土相对富集; LaN/SmN=1.86~5.48, GdN/YbN=0.34~2.28, 轻稀土内部分馏程度较重稀土明显; δEu=0.30~0.89, δCe=0.91~1.02; 标准化分布型式图略呈右倾型, 在 Eu 元素的位置出现“谷”。

Sr-Nd-Pb 同位素方面, 伟晶状白岗岩的(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i=0.743780~0.937621, 高于大陆地壳平均值;

基金项目: 龙首山产于花岗岩中碱交代型铀矿床成矿机理研究项目(41172079)

作者简介: 杨春四, 男, 1989 年生, 博士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业. E-mail: yangchunsi@gig.ac.cn

* 通讯作者, E-mail: shmzhang@ecit.cn

$\epsilon\text{Nd}(t)=-18.9\sim 11.3$, 变化范围较大; Sm、Nd 分馏不明显, 对应的亏损地幔 Nd 的模式年龄 $T_{2\text{DM}}=2538\sim 2739$ Ma; Pb 校正后初始值与实验测试值偏差较大, 具有高放射性成因铅同位素特征。

3 成岩时代

项目组研究成果表明, 伟晶状白岗岩锆石明显发育韵律环带结构和岩浆生长环带, 且锆石的 Th/U 比大于 0.4, 具有典型的岩浆成因特征; 通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素成分分析, 结果显示成岩时代为 2455~2500 Ma, 应属于新太古代晚期-古元古代早期微陆块拼合作用后期的产物, 推测是华北克拉通~2.5 Ga 岩浆构造热事件在西部地块的响应。

4 指示意义

(1) 岩石成因类型

伟晶状白岗岩样品中未发现角闪石和碱性暗色矿物, 黑云母含量比较少, 富含白云母, 在 CIPW 标准矿物计算中出现刚玉分子, 岩相学特征显示出伟晶状白岗岩具有 S 型花岗岩的特征。主量元素 A/NK-A/CNK 图解、 $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ 图解和 $\text{P}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2$ 图解判别中总体呈现出 S 型花岗岩的演化趋势。微量元素 Y-Rb 关系图解、Pb-Rb 关系图解、Th-Rb 关系图解和微量元素蛛网图特征与典型的 S 型花岗岩类似。同时 Sr 同位素初始值特征表明岩浆物质主要来源于成熟地壳, 可以推断伟晶状白岗岩具有与 S 型花岗岩相同的形成源区。综合分析, 红石泉伟晶状白岗岩应属于 S 型花岗岩。

(2) 构造环境

研究发现伟晶状白岗岩在岩相学和地球化学方面与淡色花岗岩有类似的特征, 尤其与二云母型淡色花岗岩的特征一致。研究表明, 淡色花岗岩是大陆碰撞过程中地壳低比例部分熔融形成的以石英和长石为主, 缺少暗色矿物的特殊花岗岩。在微量元素 Rb-(Y+Nb)判别图解和 Nb-Y 判别图解上集中落入同碰撞-火山弧-板内环境造环境范围之内, 基本表明白岗岩可能形成于碰撞构造环境。伟晶状白岗岩具有低 Sr 高 Y 的特点, 表明岩浆形成于低压环境(张旗, 2006), 推测伟晶状白岗岩可能形成于中高温低压的碰撞环境。

(3) 源区性质

样品 $\text{Nb}/\text{Ta}=10.89\sim 22.58$ 、 $\text{Rb}/\text{Sr}=0.44\sim 3.54$ 、 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i=0.74\sim 0.93$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.62\sim 17.8$ 以及 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i-t$ 图解, 显示出壳源的特征; $\text{Zr}/\text{Hf}=24.94\sim 33.82$ 、 $\text{Th}^*=0.53\sim 4.17$ 、 $\text{Nb}^*=0.17\sim 1.79$ 、 $\text{Zr}^*=0.59\sim 9.68$, 显示出壳源和幔源的双层特征。 $\delta\text{Eu}-(\text{La}/\text{Yb})_N$ 图解说明岩浆源区主要来自于地壳, 可能有一部分地幔物质的混染。 $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i-(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ 关系图解上, 样品点分布在地壳演化范围内; $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})-(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ 关系图解上, 样品落在了造山带和地幔的延长线上, 以造山带为主, 可能有幔源物质加入; 同样 $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})-(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ 关系图解上, 样品点落在造山带和上地壳区域内, 说明地壳物质作为主要成分参与伟晶状白岗岩的形成。两阶段模式年龄为 2538~2739 Ma, 源区应为新太古代残余地壳。

(4) 岩石成因过程

~2.5 Ga 的构造与变质-岩浆事件是华北最重要的构造事件(耿元生等, 2010), 伟晶状白岗岩形成于碰撞环境, 在碰撞过程中产生大量的热, 成为该区龙首山群地层岩石重熔的主要热源, 也是导致幔源物质加入的主要原因。在热源的作用下, 龙首山群的部分岩石(泥质岩、碎屑岩及火山物质)经选择性重熔形成白岗质岩浆(这种熔浆具有富 Si、K, 贫 Ca、Mg, 少挥发分和 Nb、Ta 等特点)沿薄弱带运移, 在温度不高、相对密闭的环境中发生结晶作用, 并对围岩产生热力作用和物质成分的改造。

(5) 白岗岩与铀成矿

红石泉铀矿床最早在中条期实现了铀元素的初步富集, 但是铀成矿主要发生在加里东期和海西期。铀矿化是在早期形成的富铀花岗岩岩浆岩为晚期的铀成矿提供物源的基础上, 经后期多期次岩浆热液演化、多期成矿作用叠加富集而成。

伟晶状白岗岩侵入到龙首山变质岩系中, 在矿床中段发育厚度大, 是铀矿床的主体部分, 西段和东段发育不规则, 规模相对较小。矿化主要发生在白岗岩和龙首山变质岩系的接触部位, 可以看出伟晶状白岗岩是成矿的物质基础, 铀成矿与白岗岩的分布关系密切。