

粤北下庄铀矿田碳、氧同位素研究

商朋强^{1,2}, 胡瑞忠¹, 毕献武¹, 刘雷^{1,2}, 张国全^{1,2}

1. 中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;

2. 中国科学院北京研究生院, 北京 100039

摘要:下庄矿田是华南重要的热液铀矿产区, 区内控矿条件复杂。本文选取下庄矿田部分矿床内热液碳酸盐样品并测定其碳、氧同位素组成, 测得与成矿有关的碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 $-3.1\% \sim -8.8\%$ 。研究结果表明, 成矿流体中矿化剂 ΣCO_2 主要来源于中生代与区域深大断裂有关的幔源脱气作用, 同时伴有壳源有机碳来源; 成矿同时期伴随的强烈流体脱气 (CO_2) 作用对矿质沉淀至关重要。

关键词:下庄铀矿田; 碳酸盐; 碳、氧同位素; 矿化剂

下庄铀矿田是我国最大的花岗岩型铀矿田, 我国发现的第一个花岗岩型铀矿——希望矿床就位于其中。该矿田具有成矿规模大、矿床类型多且成矿明显受北东向张性断裂控制等特点。自勘探开发以来, 先后有许多研究单位对该区岩浆活动、控矿因素及矿床成因等方面进行了不同程度的分析、研究, 而对于矿化剂 ΣCO_2 在成矿中的作用机制的研究尚待商榷。在本课题组已有工作基础上, 为揭示本区铀矿成矿流体中矿化剂 ΣCO_2 的来源及其在成矿中的作用, 笔者开展了矿田内部分矿床的碳、氧同位素组成及其对成矿的制约机制的研究。

1 矿区地质特征

下庄铀矿田位于贵东岩体东部, 贵东岩体东部主体岩性为鲁溪岩体的粗粒斑状黑云母花岗岩、下庄岩体的中粒斑状黑云母花岗岩及冒峰岩体的细粒白云母花岗岩, 后期侵入的中酸性岩浆岩为中细粒二云母花岗岩(司前式岩体), 各期次的花岗岩均为过铝质花岗岩。自中生代晚期以来, 在岩体东部(矿区)先后有三期次 ($\sim 140\text{ Ma}$ 、 $\sim 105\text{ Ma}$ 、 $\sim 90\text{ Ma}$)^[1] 的基性岩脉贯入, 主要为辉绿岩、辉绿玢岩及闪斜煌斑岩。矿区断裂构造极为发育, 主要有北东

向和东西向两组, 其中矿体绝大部分赋存于北东向的硅化断裂及伴生的次生裂隙与近东西向的基性岩脉的交汇处。矿体多呈板状、脉状、网脉状、透镜状及柱状, 矿区北部矿床矿体多产于花岗岩体内, 而南部矿床矿体多受到基性脉岩体控制。铀矿物以沥青铀矿为主, 金属矿物有黄铁矿、赤铁矿、方铅矿和针铁矿等, 脉石矿物主要有玉髓、石英、萤石及方解石等。围岩蚀变矿前期以微斜长石化、钠长石化和绿泥石化为主, 成矿期主要为硅化、萤石化、水云母化和碳酸盐化, 矿后期以碳酸盐化和粘土化为主。

2 分析结果

据本文分析数据, 可以看出该区碳酸盐同位素组成有以下特征: 矿田北部的矿床包括 330、332, 其碳酸盐岩的碳、氧同位素组成相对均一, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 $-7.6\% \sim -8.8\%$ (均值为 -8.4%), $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值为 $12.1\% \sim 13.2\%$ (均值为 12.9%); 矿田南部矿床包括 339(石角围)、338(仙人嶂)及 335 矿床, 其碳酸盐岩的碳、氧同位素组成与北部矿床相比波动范围较大, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 $-3.1\% \sim -8.5\%$ (均值为 -5.8%), $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值为 $10.4\% \sim 14.1\%$ (均值 12.2%)。采于矿田北部基性岩脉中的离矿体较远的

白色方解石脉($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 分别为 -14.5% 、 -15.0% ， $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 分别为 20.3% 、 21.5%)在基性脉岩中广泛发育，与矿体无明显穿插关系，可认为其是与铀成矿无关的方解石脉。其碳、氧同位素组成与成矿有关的碳酸盐岩有着明显的区别，而与法国中央高原地区铀矿床中与沥青铀矿密切相关的碱交代岩中富 CO_2 包裹体(被认为大气降水成因)的 $\delta^{13}\text{C}$ 值^[2]相似。这种显著亏损 $\delta^{13}\text{C}$ 的低温方解石可能为大气降水沿断裂裂隙下渗并与围岩发生水-岩反应沉淀形成。

3 讨论

3.1 矿化剂来源探讨

关于下庄矿田矿化剂 ΣCO_2 来源问题前人已有论述，作者都认为其应该来自幔源脱气作用。综合前人数据，笔者统计的下庄铀矿区与成矿有关的碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值稳定于 -3.1% ~ -9.2% 之间(图2)，经计算得与成矿有关的碳酸盐平衡的成矿流体中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值约为 -2.51% ~ -11.09% ，北部矿床竟达到 -9.9% ~ -11.09% 。成矿流体中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值虽然介于岩浆-地幔碳与有机碳之间而倾向于岩浆-地幔碳占优(图1)，说明碳应不可能为单一来源。根据分析，这个结果中的一个端员 $\delta^{13}\text{C}$ 值较低的碳应来自大气降水或其淋滤带来的地层有机碳。那么另一端员的岩浆-地幔碳应来自何处呢？据我们对下庄矿田的研究，认为其中的矿化剂 ΣCO_2 亦不可能主要来自围岩花岗岩，理由如下：1)成岩成矿时差的存在：笔者采样点所在范围铀矿成矿时间绝大部分位于 $54.5\sim 90.0\text{ Ma}$ ，与围岩成岩时代两者之间时差至少为 56 Ma ，远远超过了岩浆活动所能影响的最大时限。且铀成矿与区内岩石(花岗岩、基性脉岩)已有的年代学研究表明，本区铀成矿与花岗岩浆活动之间还存在着多次以基性岩浆活动为标志的地壳拉张事件。即使花岗岩浆可以分异出足以成矿的富矿化剂热液，也会早于成矿前消耗殆尽；2)热液铀成矿实验表明，纯水和其它阴离子形成的热液在热液铀成矿前所需物理化学条件下从花岗岩中浸取铀的能力远低于富 ΣCO_2 或 HCO_3^- 的热液^[3]。仅凭大气降水及裂隙水溶解花岗岩中的

微量碳酸盐岩难以形成成矿所需的富矿化剂热液，而未发生矿化时循环于深部的热液是贫矿化剂、贫铀的热液。

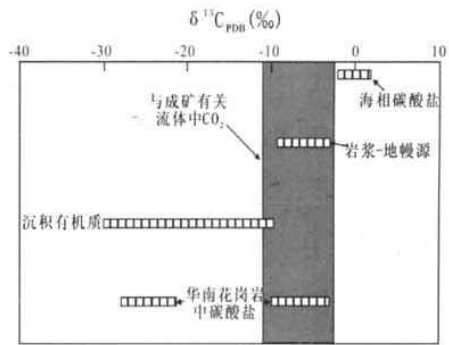


图1 下庄矿田成矿流体中 CO_2 与不同来源碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 比较

据以上分析，我们认为该区铀矿矿化剂 ΣCO_2 有部分来自于有机碳，但主要来源为幔源。首先，下庄矿田与成矿有关的方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与幔源 $\delta^{13}\text{C}$ 值^[4](-3% ~ -9%)基本一致；其次，华南地区白垩-第三纪岩石圈六阶段强烈拉张期其中的四个阶段在下庄矿田均发育不同程度的铀矿化。铀矿化时代与地壳拉张期(基性岩浆活动期)高度的一致性暗示幔源物质或热动力参与该区铀成矿的可能性；最后，据前人的研究及笔者的镜下观察，成矿前发育于矿床深部的碱质交代作用，伴随较强烈的碳酸盐化作用，而碱交代作用是地幔流体特有的一种交代形式^[5]。因此该区铀矿矿化剂 ΣCO_2 应主要来源于幔源，其形成是由于中生代华南地区地壳强烈拉张事件产生的区域性深大断裂导通了地幔，使幔源脱气成因的 ΣCO_2 沿深大断裂上升，从而参与该区热液铀矿的形成。

3.2 碳、氧同位素演化机制

矿床内碳酸盐矿物的沉淀可能有以下几种情况造成：①流体与围岩的水-岩反应；②热液脱气作用；③流体混合作用^[6]。流体包裹体及野外地质观察证实，碳酸盐成矿阶段及成矿后期流体发生沸腾作用，这是热液脱气作用一个明显标志，当 CO_2 从流体中丢失时，溶液的pH值升高，碳酸盐变得过饱和，结果就会引起碳酸盐的沉淀。

对于北区，碳酸盐矿物形成之前流体为大气降水流体与深源流体的混合，形成了稳定的碳、氧同位

素组成,成矿晚期形成了较为低温的方解石。铀成矿晚期,流体中 CO_2 形式应以 HCO_3^- 为主。我们利用 CO_2 从流体中脱气有关批式模型(batch degassing-precipitation model)^[6]公式:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{方解石}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{流体}}^i + (1 - 2x_{\text{CO}_2}) \cdot 10^3 \ln a_{\text{方解石-HCO}_3^-} - x_{\text{CO}_2} \cdot 10^3 \ln a_{\text{CO}_2\text{-HCO}_3^-},$$

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{方解石}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{流体}}^i + (1 - 2x_{\text{CO}_2}) \cdot 10^3 \ln a_{\text{方解石-H}_2\text{O}} - x_{\text{CO}_2} \cdot 10^3 \ln a_{\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}}.$$

设成矿流体脱气比分别为 0.1 和 0.05,两值对应流体的初始 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 值分别为 $[(-9.8\%、4.0\%)、(-8.8\%、4.0\%)]$ 及 $[(-10.3\%、4.0\%)、(-9.1\%、4.0\%)]$ 。计算采用文献[6~8]分馏系数。由计算可知,所测数据与理论计算具有很好的—致性,证明本区几个铀矿床形成过程中 CO_2 脱气作用是致使矿质沉淀的一种重要机制。

4 结 论

(1)下庄矿田铀矿中成矿流体中 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值介于岩浆—地幔碳与有机碳之间,而以前者占多。矿化剂 ΣCO_2 有部分来源于有机碳,但主要来源于沿深大断裂上升的幔源脱气成因的 ΣCO_2 。

(2)通过对矿区北部部分铀矿床碳酸盐沉淀的模拟,证明了脱气作用在本区铀成矿过程中的重要性。且这一研究对华南大部分热液铀矿具有适用性。

参考文献:

- [1] 李献华,胡瑞忠,饶冰. 粤北白垩纪基性脉岩的年代学和地球化学[J]. 地球化学, 1997, 26(2): 14-31.
- [2] Laurent T, Jacques L, Simon M F. Isotopic systematics (O, H, C, Sr, Nd) of superimposed barren and U-bearing hydrothermal systems in a Hercynian granite Massif Central, France [J]. Chemical Geology, 1990, 88: 85-98.
- [3] 刘正义. 铀的溶解实验研究[A]. 赵斌,王声远,吴厚泽,等. 高温高压实验地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1995. 142-166.
- [4] Ohmoto H. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits [J]. Economic Geology, 1972, 67: 551-578.
- [5] 杜乐天. 烃碱流体地球化学——重论热液作用与岩浆作用[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 1-552.
- [6] Zheng Y F. Carbon-oxygen isotopic covariation in hydrothermal calcite during degassing of CO_2 : A quantitative evaluation and application to the Kushikino gold mining area in Japan [J]. Mineralium Deposita, 1990, 25: 246-250.
- [7] Ohmoto H, Rye R O. Isotopes of sulfur and carbon[A]. Bernes H L, ed. Geochemistry of hydrothermal ore deposits. 2nd edition. [C]. New York: John Wiley and Sons, 1979. 509-567.
- [8] O'Neil J R, Clayton R N, Mayeda T K. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates [J]. Journal of Chemical Physics, 1969, 51: 5547-5558.