

文章编号: 1001-1412(2000) 03-0275-07

成矿流体的流体包裹体同位素示踪探讨

范建国, 倪培, 田京辉

(南京大学地球科学系, 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 江苏南京 210093)

摘要: 流体包裹体中流体的同位素组成, 广泛应用在推测流体来源及确定流体成矿年龄方面。由于流体包裹体一般是多成因及多期的, 在用流体同位素研究成矿流体时, 需要注意到流体包裹体的捕获是否与成矿同期。本文主要以 Rb-Sr 同位素为例探讨了流体包裹体同位素在成矿流体来源及确定成矿年代方面的意义。

关键词: 流体包裹体同位素; 成矿流体来源; 成矿年龄

中图分类号: P597 文献标识码: A

除了纯粹的岩浆分异矿床外, 流体都是成矿过程中必不可少的载体。在流体演化、运移直至成矿的不同阶段捕获的流体包裹体是各期流体最直接的记录, 所以流体包裹体是了解流体性质及其成矿机制的最常用的途径之一^[1,2]。流体包裹体中流体的同位素组成, 广泛应用在推测流体来源及确定流体成矿年龄方面。

1 流体包裹体与成矿流体

在矿床地质演化中, 流体活动大多是多期次的, 可能只有某期次是与成矿有关的(即成矿流体), 如 Kuehn 等(1995)利用包裹体鉴别出卡林金矿存在主成矿期与后成矿期流体^[3], 也可能某种来源的流体与成矿始终都没有关系(即非成矿流体)。成矿流体与非成矿流体都可能被捕获在流体包裹体中, 在用流体包裹体研究矿床的成矿机制时需要根据流体的性质把它们区分开来。如 Roberts 等(1991)在 La Codocera 地区发现含金与不含金的石英脉中的包裹体存在明显区别, 他们认为据此可鉴别出区内的成矿流体与非成矿流体^[4]。祝新友等(1999)与谢奕汉等(1998)也发现了成矿与流体中 CO₂ 及 CH₄ 含量的联系^[5,6]。即使同为成矿流体, 不同阶段的成分及其他特征也常存在一定的差异, 可以划分成矿流体活动的不同期次。Fayyek 等(1995)通过分析 Lake Lode 金矿内流体包裹体, 认为该矿床的形成多为多期流体所致^[7]。

流体包裹体按其为主矿物形成的先后关系可分为原生包裹体和次生包裹体两类: 原生流

收稿日期: 1999-12-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(49702023)资助。

第一作者简介: 范建国, (1976-), 男, 汉族, 河南许昌人, 现为南京大学地球科学系 98 级硕士生。

体包裹体在主矿物结晶时形成,指示了主矿物形成时的流体成分和捕获条件;次生流体包裹体的形成晚于主矿物,记录的是主矿物形成后遭受改造作用时的流体成分及热力学条件。在热液矿床研究中,不加讨论地选用原生包裹体,认为只有原生包裹体才能代表成矿流体的作法是片面的。事实上,流体包裹体能否代表成矿流体,取决于其捕获的时间是否是在成矿期,而与原生或次生无关。Machairas(1970)在一些金矿中发现了金的微粒与流体包裹体的共生关系^[8],Robert等(1987)在研究Sigma石英脉状金矿时也发现,次生包裹体与自然金微颗粒沿裂隙平行或沿同一裂隙产出,自然金微颗粒之间有充满流体的导管相连,这说明流体曾经存在于含金裂隙中,由于没有现象显示金是成矿后转移到裂隙中的^[10],那么金一定是含金流体流经裂隙时沉淀下来的,成矿同时捕获了赋存成矿流体的次生包裹体,这些成矿期捕获的次生包裹体就记录了Sigma金矿的流体成矿过程^[9]。范宏瑞等(1998)在豫西小秦岭脉状金矿中也发现了与自然金微颗粒沿裂隙平行产出的次生流体包裹体^[10]。由于脉状热液矿床一般经多次破碎剪切及扩张而形成^[11-13],在此过程中捕获了多期的次生包裹体,如果流体成矿是在剪切及扩张阶段,那么成矿流体的信息就保存在成矿期捕获的那一期或几期的次生包裹体中。在用流体包裹体研究成矿流体时,首先要保证测定的是成矿期捕获的流体包裹体,这样得到的才是成矿流体的信息。由于现在流体包裹体同位素分析一般测的是整个样品中的流体包裹体平均同位素组成,所以为了得到确切的数据,就要寻找只含一期(主成矿期)流体包裹体的样品,或其中的包裹体形成于一个相对短的时间间隔内(与成矿的间隔不大),把各个世代的包裹体作为单一事件来对待^[14]。因此在对流体包裹体进行温度、成分或同位素测定之前,在镜下详细研究流体包裹体的类型及世代关系是非常必要的,以确保研究对象是成矿期捕获的流体包裹体,获得关于成矿流体的信息。

流体包裹体同位素测定有其优势,如在测He和Ar同位素组成时,使用精确技术只分析从流体包裹体中释放的气体,可以排除大气稀有气体等后期作用的干扰,得到较精确的流体捕获时的He和Ar同位素组成。在用Sr同位素研究成矿流体时,流体包裹体Sr同位素分析比全岩Sr分析有很多好处,象石英这些Sr低含量的矿物,Sr主要赋存在流体包裹体和富Sr矿物包裹体中,而矿物包裹体一般是多来源的,会增加Sr同位素数据的复杂性,流体包裹体Sr同位素分析就可以排除富Sr矿物包裹体的干扰,使Sr同位素数据解释简单化。同时流体包裹体Sr同位素数据可以和从流体包裹体的得到的 δD 、 $\delta^{18}O$ 、均一温度、盐度及化学成分等数据进行比较,综合各种数据共同解释流体的来源及演化,以期得到比较可靠的结果。

2 根据流体包裹体同位素组成特征判断成矿流体的来源

2.1 用流体源区同位素组成对比判断成矿流体的来源

不同来源的流体的同位素组成有明显的差异^[16],把成矿流体的同位素组成与已知流体源区的同位素组成进行对比是判断成矿流体来源的重要方法。这种方法的前提是要了解流体在不同源区的同位素组成,而且不同源区的同位素分馏要足够大。如Taylor(1974)^[17]及张理刚等(1985)^[18]提出了各自的不同来源的水的H、O同位素组成特征,这些是根据流体H、O同位

素组成特征判断流体来源的基础。用 Sr 同位素判断流体来源同样有明确的指标: $w(^{87}\text{Sr})/w(^{86}\text{Sr}) > 0.710$ 为壳源, $w(^{87}\text{Sr})/w(^{86}\text{Sr}) > 0.705$ 为幔源, 使其在矿床研究中成为常用手段^[19]。

饱和空气雨水、地幔来源和地壳放射成因是 He 和 Ar 的三大来源, 不同来源的同位素组成极不相同, 尤其是 He, 地幔 $w(^3\text{He})/w(^4\text{He})$ 值 (6~9 Ra, Ra 是空气的 $w(^3\text{He})/w(^4\text{He})$ 值) 是地壳 $w(^3\text{He})/w(^4\text{He})$ 值 (0.01~0.05 Ra) 的近 1 000 倍, 即使地壳流体中有少量幔源 He 的加入, 用 He 同位素也容易判别出来^[20]。如 Burnard 等 (1999) 用 He-Ar 同位素划分出了云南哀牢山金矿流体的两大来源: 幔源岩浆流体和低温地下水^[21]。胡瑞忠等 (1997) 在马厂铜矿发现黄铁矿中流体包裹体的 $w(^{40}\text{Ar})/w(^{36}\text{Ar})-w(^3\text{He})/w(^{36}\text{Ar})$ 呈明显的正相关, 由此可以确定成矿流体为地壳地下水和地幔来源流体的混合物^[22]。流体包裹体 He-Ar 同位素组成的变化记录了流体混合演化的过程, 如 Stuart 等 (1995) 在韩国 Dae Hwa 钨钼矿研究了一个白钨矿晶体环带中流体包裹体的 $w(^3\text{He})/w(^4\text{He})$, $w(^3\text{He})/w(^{36}\text{Ar})$ 和 $w(^{40}\text{Ar})/w(^{36}\text{Ar})$ 变化, 发现它们从晶体核部向外是逐渐降低的, 他们认为这反映了一个大气降水不断稀释岩浆流体的过程^[20]。

用示踪 C 同位素流体时就有问题了, 虽然深源岩浆 C 同位素组成较均一, 而沉积岩和变质岩的 C 同位素变化较大, 不同来源的 C 同位素组成有重叠, 简单对比 $\delta^{13}\text{C}$ 会使问题多解, 可能会得到错误的结果^[23]。因此, 在使用 $\delta^{13}\text{C}$ 判断流体来源的时候必须认真探讨同位素的演化历程, 同时要结合地质环境和 $\delta^{18}\text{O}$ 等其他方法。

2.2 同位素水岩反应

实测得到的流体包裹体的同位素数据是发生水岩反应后和围岩平衡的流体的同位素组成, 不考虑水岩反应直接把同位素值与各来源的水进行比较是难以正确判定流体介质水来源的。如大量资料表明, 大部分热液矿床成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 值都介于岩浆水与大气降水之间, 而来源却可以是典型的岩浆水或大气降水。Hiroshi 和 Robert (1974)^[24] 及 Taylor (1974)^[17] 应用水岩反应来探讨 O 同位素在不同水岩比的情况下的演化模型, 进而讨论成矿流体的来源。近年国内在应用 O 同位素研究成矿流体来源时, 大都注意到了 O 的水岩反应^[25]。

在应用 Rb-Sr 同位素指示流体来源时, 了解在流体渗透和交代过程中 Rb-Sr 的同位素交换反应行为同样是至关重要的。Stettler (1977)^[26], Stettler 和 Allegre (1978)^[27] 在其研究区域内发现, 地热流体和源区岩石有相同的 Sr 同位素组成。这就说明流体中的 Sr 同位素交换反应是一个非常缓慢的过程, 不会发生明显的同位素分馏。Norman 等 (1983)^[15] 在研究秘鲁 Pasto Bueno 矿后指出在热液矿床中流体 $w(^{87}\text{Sr})/w(^{86}\text{Sr})$ 的变化反映了 Sr 的不同来源, 例如岩浆流体和原始岩浆就具有相同的 $w(^{87}\text{Sr})/w(^{86}\text{Sr})$ 组成, 不是围岩交代或选择性淋滤的结果, 因此 $w(^{87}\text{Sr})/w(^{86}\text{Sr})$ 可以比轻稳定同位素更好地指示流体的来源, 以岩浆流体、大气降水和建造水为端元, 用 $[w(^{87}\text{Sr})/w(^{86}\text{Sr})]_i$ 还可大致估计混合流体中这三个端元所占的比例。而 Hedge (1974)^[19] 的看法却与此不同, 他认为热液脉中的 Sr 来源于附近围岩。近年的研究也表明, 地热流体在运移的过程中会从途径的围岩中淋滤出 Sr 来, 导致流体的 Sr 同位素组成改变。Bohlke 和 Kistler (1986)^[29] 在研究 Northern Sierra Nevada Foothills 变质带中含石英脉时发现, 不同矿床中流体的 $w(^{87}\text{Sr})/w(^{86}\text{Sr})$ 变化很大 (0.704~0.718), 成矿流体只有从碎屑

岩中得到了 Sr 才能达到 0.718 这样高的值,他们由此推测广泛的水岩反应中 Sr 的迁移和同位素交换再平衡。Subias 等(1998)^[30] 在 Valle de Tena 萤石矿得到相似的结果,矿石中的 Sr 是淋滤自基底硅质碎屑岩的富⁸⁷ Sr 的 Sr 和主岩灰岩的 Sr 混合而成。Shao-yong JIANG 等(1999)^[31] 在研究大厂锡矿时也得到相似的结果,硅质岩中电气石的 Sr 和 Nd 是淋滤上盘和下盘岩石的混合物。所以 Hedge(1974)^[19] 及 Bohlke 和 Kistler(1986)^[29] 指出 Sr 的同位素组成只是代表了 Sr 的来源,与流体以及成矿物质的来源是可以完全不同的,它只是证明流体曾经流经这里,带走了与流体原同位素组成不同的 Sr ,改变了流体的 Sr 同位素组成。

2.3 各种同位素数据的综合应用

各种元素的同位素组成特征指示的只是其相应元素的同位素演化,进而推测携带这些元素的流体来源,不能指示不含(或含量太低)这些元素的流体的存在。如胡瑞忠等(1997)^[22] 在马厂铜矿发现,流体包裹体中的 Ar 和 He 的同位素组成有两端元:一端元具空气⁴⁰ Ar -³ He 组成,富含⁴ He ;另一端元具地幔特点。而成矿流体的 $\delta^{34}S$ 和 $\delta^{34}C$ 却显示出成矿流体中的硫和碳为单一岩浆来源。这是因为幔源岩浆流体中富含硫和碳等挥发份,而地壳中的大气成因地下水却因含硫和碳太少以致不能对混合流体的 S 和 C 同位素组成发生检测到的影响, S 和 C 同位素就不能指示大气成因地下水的存在。

同样各种元素的同位素组成也不能说明与其来源不同的物质的来源,如 Sr 同位素数据指示的是作为溶质的 Sr 元素在流体演化过程中的行为,作为溶剂的 H_2O 以及成矿物质在复杂的流体演化体系中是可能和 Sr 有不同的来源和行为的^[19, 15, 29]。因此单独用 Sr 同位素有时可能会得不到确切的结果,这时采用 Norman 等(1983)^[15] 所用的 $\delta D-[w(^{87}Sr)/w(^{86}Sr)]_i$ 图进行解释就是一种较好的方法。与 Sr 不同, δD 指示的是作为溶剂的 H 的来源和演化, $\delta D-[w(^{87}Sr)/w(^{86}Sr)]_i$ 图综合了这两种同位素数据,从中就可以清晰地分清单独用稳定同位素数据分不开的岩浆流体和建造水,这样就可以更确切的推测流体的来源。

由于地幔 $w(^3He)/w(^4He)$ 值和地壳 $w(^3He)/w(^4He)$ 值的近 1 000 倍差异,用其同位素组成来区分流体的地壳来源和地幔来源是较可靠的,但对于其他来源的流体就要结合其他方法。如 Stuart 等(1994)^[33] 用 He 同位素结合 S 同位素来区分孔隙水和海水。孙晓明等(1999)^[34] 用流体包裹体 He 和 Ar 同位素结合 N_2 判断粤中坑金银矿的成矿流体来源是建造水。

所以记录了成矿流体中不同元素的同位素性质的各种同位素方法要综合应用并结合地质背景才能得到较可靠、较全面的结果。

3 根据流体包裹体 $Rb-Sr$ 同位素定年

由于流体包裹体是一个满足定年条件的理想封闭体系,八十年代以来开始在矿床研究中应用流体包裹体 $Rb-Sr$ 及⁴⁰ Ar -³⁹ Ar 同位素测定成矿年龄^[14, 35]。如果要用流体包裹体 $Rb-Sr$ 同位素测定成矿年龄,流体包裹体就必须是在成矿过程中捕获,与是否原生包裹体无关。Shepherd 等(1981)^[14] 在用流体包裹体 $Rb-Sr$ 同位素测定 Carrock Fell 钨矿的成矿年龄时,排除代表晚期流体活动的次生包裹体的影响,选取了在主成矿期形成的流体包裹体进行测量,取

得了理想的结果。王秀璋等(1999)^[36]测得金山金矿含金石英脉流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为(406 ± 25) Ma, 含金硅质超糜棱岩流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄与此相近为(409 ± 25) Ma。他们据此肯定金山金矿的成矿时代为加里东期。笔者认为不讨论流体包裹体的捕获时代, 就把其 Rb-Sr 等时线年龄作为成矿年龄是有疑问的。金山金矿 75% 以上的金充填于石英及硫化物裂隙中, 这说明石英和硫化物的主体是主矿化期前形成的^[37-39], 其中的原生包裹体捕获的就不是成矿流体, 其 Rb-Sr 等时线年龄就不会是成矿年龄。

即使研究的是成矿期捕获的包裹体, 其 Rb-Sr 等时线年龄是否代表成矿年龄也是值得探讨的。如果按 Norman 等(1983)^[15]的观点, 流体的 $w(^{87}\text{Sr})/w(^{86}\text{Sr})$ 由 Sr 的来源决定, 围岩交代和选择性淋滤不会对它产生大的影响, 那么流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄代表的只能是含 Sr 的流体从源区分异的年龄。这种情况也是存在的, 胡瑞忠等(1995)^[32]在滇黔桂三角区微细浸染型金矿床发现流体包裹体中的 Rb-Sr 流体年龄远大于成矿年龄, 因此流体包裹体的 Rb-Sr 等时线年龄代表的是不足以浸取金的初始古流体的年龄。这些金矿在矿化过程中, 流体的 Rb-Sr 同位素组成可能未受到明显的影响, Rb-Sr 同位素仍保持初始的组成。如果流体从分异形成到捕获之间的历史很短, 流体的年龄可以近似看作流体包裹体捕获时代。

然而在更多的情况下, Rb-Sr 同位素组成是受广泛的热液交代变质作用的影响, 流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄记录的就是流体包裹体捕获以前的使流体中 Rb、Sr 同位素明显改变的最晚一次热液交代变质的时代。Bohke 等(1986)^[29]认为 Rb-Sr 年龄记录的热液活动是热液脉形成的时代。Watanabe 等(1998)^[42]认为他们用 Rb-Sr 法得到的就是变质年龄。如果交代变质作用是和成矿同时的话, 那么 Rb-Sr 等时线年龄代表的就是成矿年龄。如 Marschik 等(1997)^[43]认为其用 Rb-Sr 法得到的为矿化过程中钾交代的年龄。Moralev(1999)^[28]用 Rb-Sr 等时线法得到了 Shkol'noe 金银矿的成矿年龄。最终流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄是否代表成矿年龄要与矿床的其他数据综合, 才能得到比较可靠的结果。

参考文献:

- [1] 赵志忠, 李志纯. 地壳内部流体与金成矿关系的研究现状与进展[J]. 地质地球化学, 1999, 27: 76-81.
- [2] 倪师军, 滕彦国, 张成江, 等. 成矿流体活动的地球化学示踪研究综述[J]. 地球科学进展, 1999, 14: 346-351.
- [3] Kuehn C A, Rose A W. Carlin gold deposits, Nevada: Origin in a deep zone of mixing between normally pressured and overpressured fluid [J]. Economic Geology, 1995, 90: 17-36.
- [4] Roberts S, Sanderson D J, Dee S, et al. Tectonic setting and fluid evolution of auriferous quartz veins from the La Codocera area, western Spain [J]. Economic Geology, 1991, 86: 1012-1022.
- [5] 祝新友, 樊江, 王书来, 等. 河南嵩县小南沟金矿床矿体剥蚀深度评价[J]. 地球化学, 1999, 28(4): 318-326.
- [6] 谢奕汉, 范宏瑞, 王英兰. 小秦岭地区花岗岩体中 CO₂-H₂O 包裹体的找矿意义[J]. 岩石学报, 1998, 14(4): 542-548.
- [7] Fayek M, Kyser T K. Characteristic of auriferous and barren fluids associated with Proterozoic contact Lake Lode gold deposit, Saskatchewan, Canada [J]. Economic Geology, 1995, 90: 385-406.
- [8] Machairas G. Association des inclusions fluids et des particules d'or dans le quartz aurifere: Schweizer [J]. Mineralog. Petrog. Mitt., 1970, 50: 167-171.
- [9] Robert Francois, Kelly C William. Ore-forming fluids in Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi

greenstone belt, Quebec, Canada [J]. *Economic Geology*, 1987, 82: 1464-1482.

- [10] 范宏瑞, 谢奕汉, 王英兰. 脉状金矿床水/岩反应体系地球化学[J]. *矿床地质*, 1998, 17(增刊): 1043-1046.
- [11] Robert F, Brown A C. Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma mine, Abitibi greenstone belt, Quebec, Part 1. Vein paragenesis and hydrothermal alteration[J]. *Economic Geology*, 1986, 81: 593-616.
- [12] Edwin Roedder. Fluid Inclusion Studies on the Porphyry-T type Ore Deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana, and Climax, Colorado[J]. *Economic Geology*, 1971, 66: 98-120.
- [13] Williams K L, Hills A L, Corbett G J. The Porgera Gold Deposit, Papua New Guinea[J]. *Economic Geology*, 1986, 81: 660-680.
- [14] Shepherd T J, Darbyshire D P F. Fluid inclusion Rb-Sr isochrons for dating mineral deposits[J]. *Nature*, 1981, 290(5807): 578-579.
- [15] Norman D I, Landis G P. Source of mineralizing components in hydrothermal ore fluids as evidenced by $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and stable isotope data from the Pasto Bueno Deposit[J]. Peru, *Economic Geology*, 1983, 78: 451-465.
- [16] White E D. Diverse Origins of Hydrothermal Ore Fluids[J]. *Economic Geology*, 1974, 69(6): 954-972.
- [17] Taylor P Hugh JR. The Application of Oxygen and Hydrogen Isotope Studies to Problems of Hydrothermal Alteration and Ore Deposition[J]. *Economic Geology*, 1974, 69: 843-883.
- [18] 张理刚, 陈振胜, 刘敬秀, 等. 两阶段水-岩同位素交换理论及其勘查应用[M]. 北京: 地质出版社, 1995. 1-231.
- [19] Hedge E Carl. Strontium Isotopes in Economic Geology[J]. *Economic Geology*, 1974, 69: 823-825.
- [20] Stuart F M, Burnard P G, Taylor R P, *et al.* Resolving mantle and crustal contributions to ancient hydrothermal fluids: He-Ar isotopes in fluid inclusions from Dae Hwa W-Mo mineralisation, South Korea [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59(22): 4663-4673.
- [21] Burnard P G, Hu R, Turner G, *et al.* Mantle, crustal and atmospheric noble gases in Ailaoshan Gold deposits, Yunnan Province, China[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1999, 63(10): 1595-1604.
- [22] 胡瑞忠, 毕献武, Turner G, 等. 马厂箐铜矿床黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素体系[J]. *中国科学(D辑)*, 1997, 27(6): 503-508.
- [23] 柳少波, 王联魁, 张生. 热液(金)矿床碳同位素矿源示踪综述和讨论[J]. *地质地球化学*, 1996, (4): 21-24.
- [24] Hiroshi Ohmoto, Robert O Rye. Hydrogen and Oxygen Isotopic Compositions of Fluid Inclusions in the Kuroko Deposits, Japan[J]. *Economic Geology*, 1974, 69: 947-953.
- [25] 张理刚, 陈振胜, 刘敬秀, 等. 焦家式金矿水-岩交换作用——成矿流体氢氧同位素组成研究[J]. *矿床地质*, 1994, 13(3): 193-200.
- [26] Stettler A. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ systematics of a geothermal water-rock association in the Massif Central, France[J]. *Earth Planet Sci. Letters*, 1977, 34: 364-372.
- [27] Stettler A, Allegre C J. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ studies of waters in a geothermal area: The Cantal, France[J]. *Earth Planet Sci. Letters*, 1978, 38: 364-372.
- [28] Moralev G V, Shatagin K N. Rb-Sr study of Au-Ag Shkol'noe deposit (Kuram Mountains, north Tadjikistan): age of mineralization and time scale of hydrothermal processes[J]. *Mineralium Deposita*, 1999, 34(4): 405-413.
- [29] Bohlke J K, Kistler R W. Rb-Sr, K-Ar, and Stable Isotope Evidence for the Ages and Sources of Fluid Components of Gold-Bearing Quartz Veins in the Northern Sierra Nevada Foothills Metamorphic Belt, California [J]. *Economic Geology*, 1986, 81: 296-322.
- [30] Subias I, Moritz R, Fernandez-Nieto C. Isotopic composition of strontium in the Valle de Tena (Spanish Central Pyrenees) fluorite deposits: relevance for the source of elements and genetic significance [J]. *Mineralium Deposita*, 1998, 33: 416-424.
- [31] Shao-yong JIANG, Fa Han, Jian-zhong SHEN, *et al.* Chemical and Rb-Sr, Sm-Nd isotopic systematics of tourmaline from the Dachang Sn-polymetallic ore deposit, Guangxi Province [J]. *Chemical Geology*, 1999, 157: 49-67.
- [32] 胡瑞忠, 苏文超, 毕献武, 等. 滇黔桂三角区微细浸染型金矿床成矿热液一种可能的演化途径: 年代学证据[J]. *矿物学*

报, 1995, 15(2): 144-149.

- [33] Stuart F M, Turner G, Duckworth R C, *et al.* Helium isotopes as tracers of trapped hydrothermal fluids in oceanfloor sulfides [J]. *Geology*, 1994, 22: 823-826.
- [34] 孙晓明, Norman D I, 孙凯, 等. 粤中坑金银矿成矿流体 N_2 -Ar-He 示踪体系及来源[J]. *中国科学(D辑)*, 1999, 29(3): 240-246.
- [35] Kelley S, Turner G, Butterfield A W, *et al.* The source and significance of argon isotopes in fluid inclusions from areas of mineralization [J]. *Earth planet Sci Lett*, 1986, 79: 303-318.
- [36] 王秀璋, 单强, 梁华英, 等. 金山金矿床成矿时代及矿床成因[J]. *地球化学*, 1999, 28(1): 10-12.
- [37] 韦星林. 金山金矿田地质特征及成矿地质作用[J]. *矿产与地质*, 1995, 9(6): 471-480.
- [38] 朱恺军, 范宏瑞. 金山金矿的地质特征和形成条件[J]. *南京大学学报(地球科学)*, 1991(2): 177-185.
- [39] 黄宏立, 杨文思. 赣东北金山金矿床的地质特征及矿床成因[J]. *地质找矿论丛*, 1990, 5(2): 29-39.
- [40] 陈好寿, 等. 同位素地球化学研究[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1994. 1-27.
- [41] 张连昌, 姬金生, 曾章仁. 东天山康古尔金矿床成矿流体地球化学特征及其来源[J]. *地球化学*, 1999, 28(1): 18-25.
- [42] Watanabe M, Hoshino K, Kagami H, *et al.* Sugiyama M, Rb-Sr, Sm-Nd and K-Ar systematics of metamorphosed pillowed basalts and associated Besshi-type deposits in the Sanbagawa Belt, Japan[J]. *MINERALIUM DEPOSITA*, 1998, 34(1): 113-120.
- [43] Marschik R, Singer B S, Munizaga F, Age of Cu(-Fe)-Au mineralization and thermal evolution of the Punta del Cobre district, Chile[J]. *MINERALIUM DEPOSITA*, 1997, 32(6): 531-546.

FLUID INCLUSION ISOTOPES AS TRACERS OF ORE FLUIDS

FAN Jian-guo, NI Pei, TIAN Jing-hui

(*Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China*)

Abstract: Fluid inclusion isotopes are useful to the origins of ore fluids and dating mineralization. Considering the multiple genesis and generations of fluid inclusions, we should select the fluid inclusions for isotopes study which form at the same time with mineralization. This paper make a review with particularly emphasis on Rb-Sr isotopes.

Key words: Fluid Inclusion Isotopes; Origins of Ore Fluids; Dating Mineralization

(上接第266页)

Abstract: Based on the studies of ore source of Yingfang-Niujuan silver deposit, the ore-control characters, such as deep seated fault control on magmatic mineral zone, line-circle anastomosing structure control on hydrothermal fluid, shear belt control on ore distribution, are analysed. The ore-genesis belonging to deep resource hydrothermal fluid cryptoexplosion metasomatism was put forward.

Key words: ore-control structure feature; genesis; silver deposit; Hebei province.