

右江盆地八渡卡林型金矿磷灰石对成矿流体来源及找矿的指示意义

韦东田¹, 周涛发¹, 陈静¹, 夏勇², 谭亲平², 谢卓君²

1 合肥工业大学矿床成因与勘查技术研究中心 / 合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥 230009

2 矿床地球化学国家重点实验室/中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550081

卡林型金矿于上世纪 60 年代在美国内华达州卡林镇被首次发现, 是全球重要的低温热液矿床类型之一^[1, 2]。我国右江盆地也有众多的卡林型金矿床产出, 有关该地区卡林型金矿的成矿流体来源目前还未形成统一的认识, 仍存在沉积-盆地卤水、岩浆热液和变质流体三种不同的观点^[2, 3]。

不纯碳酸盐岩和钙质碎屑岩是卡林型金矿的主要赋矿岩石, 因为其含有大量碳酸盐矿物和具有良好渗透性, 使得其易于与酸性或近中性的成矿流体发生水岩反应。此外, 这些赋矿岩石一般富含 Fe, 为矿化生成载金黄铁矿和毒砂提供必要的 Fe^[4]。近年来的找矿勘探发现, 我国右江盆地八渡卡林型金矿床有约 70% 的金资源量(约 24.5 吨)赋存在辉绿岩中。辉绿岩赋存矿体中的磷灰石, 其 Rb/Sr 比值通常小于 0.001, 放射性成因 Sr 对初始 Sr 的影响可忽略。因此, 磷灰石可以保留热液系统的初始 Sr 同位素组成^[5]。本文报道了八渡卡林型金矿床辉绿岩赋存矿体的磷灰石矿物学、化学组成和 Sr 同位素组成特征, 并通过与辉绿岩围岩、区域地层的全岩 Sr 同位素组成的对比分析, 为右江盆地卡林型金矿成矿流体来源提供新的证据和为进一步找矿勘探提供理论依据。

1 地质背景

右江盆地位于扬子克拉通的西南缘。前人将扬子克拉通西南缘的基底组成归纳为 3 套岩石地层组合^[3], 包括:(1) 早元古代大红山群(底巴都组)和河口群等角闪岩相麻粒岩相高级变质岩系;(2) 中新元古代会理群、苴林群、昆阳群、梵净山群、冷家溪群和四堡群等中低级绿片岩相地层;(3) 新元古代板溪群和丹洲群浅变质火山沉积碎屑岩系。扬子克拉通西南缘的盖层则主要由显生宙碳酸盐-细碎屑岩建造组成, 其中黑色岩系发育, 二叠纪末期的峨眉山玄武岩分布广泛。

八渡矿床矿区出露的地层主要有下泥盆统郁江组、中泥盆统东岗岭组、上泥盆统榴江组、石炭系、下二叠统栖霞组、下二叠统茅口组、上二叠统领蓐组、三叠系。其中下泥盆统郁江组细碎屑岩是八渡矿床沉积岩赋存矿体的主要赋矿岩性。矿区内褶皱形态复杂, 断裂发育, 主要构造线展布方向为北西西向, 受右江大断

周涛发, 教授, 博士生导师, 矿物学、岩石学、矿床学专业,

裂的控制。由于应力作用复杂,一些地段发育“S”形旋扭构造。矿区岩浆岩为印支期辉绿岩,主要分布于八渡背斜翼部,并侵入于泥盆系至二叠系地层中。八渡矿床约70%的金资源量赋存在印支期辉绿岩中。

2 结果和讨论

2.1 矿物自动识别 (TIMA) 分析

矿物自动识别 (TIMA) 分析显示,八渡矿床的辉绿岩围岩以典型的辉绿岩造岩矿物即斜长石 (~33 vol. %) 和单斜辉石 (~20 vol. %) 为主。此外,八渡矿床的辉绿岩围岩还有绿泥石 (~20 vol. %)、绿帘石 (~9 vol. %)、石英 (~7 vol. %)、绢云母 (~3 vol. %)、钛铁矿 (~2 vol. %)、正长石 (~2 vol. %)、榍石 (~1 vol. %)、磷灰石 (~1 vol. %) 等副矿物或热液蚀变矿物产出。其中,辉绿岩围岩中的磷灰石 (Ap1) 呈细小的粒状或针状 (<10 μm) 产出。辉绿岩矿石的矿物组成则主要以绢云母 (~35 vol. %)、铁白云石 (~31 vol. %) 和石英 (~19 vol. %) 为主,此外还有少量的黄铁矿 (~6 vol. %)、斜长石 (~3 vol. %)、伊利石 (~2 vol. %)、金红石 (~2 vol. %)、毒砂 (~1 vol. %)、磷灰石 (~1 vol. %) 等。辉绿岩矿石中的磷灰石根据其形态、粒度大小和产状可以分为三种类型,即(1)细小粒状或针状磷灰石,与辉绿岩围岩中的磷灰石相同,但含量大幅减少;(2)自形-半自形的粗粒磷灰石 (Ap2; ~100 μm),通常与载金黄铁矿、毒砂在空间上有密切的联系;(3)铁白云石-石英脉中产出的自形-半自形粗粒磷灰石 (Ap3; ~100 μm)。

通过 TIMA 矿物定量分析发现,从辉绿岩围岩到辉绿岩矿石,磷灰石的含量几乎保持不变,与矿化过程中元素带入带出通量分析结果一致,即 Ca、P 等磷灰石主要元素组成在矿化过程中变化不大。所以,从辉绿岩围岩到辉绿岩矿石,磷灰石的粒度、形态和产状发生改变的原因,可能是热液蚀变和矿化过程中,围岩中大部分细小的磷灰石发生了重结晶,从而形成了粗粒的自形-半自形磷灰石。

前人研究也发现,磷灰石在热液蚀变过程中可发生部分交代或完全重结晶^[6]。

2.2 电子探针 (EMPA) 分析

电子探针分析结果显示,八渡矿床辉绿岩赋存矿体的三种磷灰石成分具有较为明显的区别。在挥发分组成上,Ap1 相对于 Ap2 和 Ap3 富集 Cl 和 OH⁻,而 Ap2 和 Ap3 相对富集 F。Ap2 相比于 Ap1 和 Ap3,以相对富集 S 为特征。此外,Ap1 在 Mn、Sr、Mg 和 Si 元素上与 Ap2、Ap3 具有明显的差别。Ap1 明显相对富集 Mn、Mg 和 Si,而 Ap2 和 Ap3 则相对富集 Sr。Ap2 和 Ap3 在这些元素含量上没有明显的差别。

三种类型的磷灰石在化学成分上的特征说明,Ap1 的成因不同于 Ap2 和 Ap3。结合 Ap1 主要以细小的粒状或针状产出于辉绿岩围岩中,我们认为 Ap1 为成矿前的产物,是镁铁质岩浆结晶形成的副矿物。而 Ap2 和 Ap3 在 Mn、Sr、Mg 和 Si 含量上具有相似的特征,表明它们是同一热液事件演化过程中形成的。但是 Ap2 比 Ap3 相对富集 S,结合 Ap2 与载金黄铁矿、毒砂在矿石中密切共生,说明 Ap2 是主成矿阶段的产物,而在石英-铁白云石脉中产出的 Ap3 则是成矿晚阶段的产物。

2.3 电感耦合等离子体质谱 (LA-ICP-MS) 分析

因 Ap1 粒度过于细小,无法满足 LA-ICP-MS 分析的束斑要求,本次研究仅对

卢占武,研究员,博士生导师,从事深部探测工作,lzw@cags.ac.cn

的微量元素组成和稀土元素配分型式。

Ap2 和 Ap3 的稀土配分型式以富集中稀土 (MREE) 为特征,具有轻微的 Eu 正异常 ($Eu_N/Eu^* = 1 \sim 1.5$),而辉绿岩围岩的稀土配分型式为典型的 OIB 型,说明形成 Ap2 和 Ap3 的成矿流体不是直接来自于辉绿岩围岩。此外,Ap2 和 Ap3 的

稀土配分型式也与岩浆和变质成因的磷灰石稀土配分型式明显不同,后者的稀土配分型式呈右倾型且具有明显 Eu 负异常的特征^[7,8],结合 Ap3 产出在石英-铁白云石脉中,及 Ap2 在空间上与载金黄铁矿、毒砂的密切联系,进一步说明了 Ap2 和 Ap3 是成矿期的产物。

2.4 多接收电感耦合等离子体质谱(LA-MC-ICP-MS)分析

本次研究利用 LA-MC-ICP-MS 获得了 Ap2 和 Ap3 的 Sr 同位素组成(Ap1 的粒度过小,无法满足分析要求)。分析结果显示,Ap2、Ap3 的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值范围分别为 0.709659~0.711222 和 0.709489~0.711787,平均值分别为 0.710663 和 0.71054。可见,两者的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值非常接近。

Ap2、Ap3 的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值与辉绿岩围岩的相差很大,后者的平均值为 0.706329,进一步说明成矿流体不是直接来源于辉绿岩围岩。右江盆地泥盆纪地层的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 平均值是 0.708805,远低于 Ap2、Ap3 的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值,因此,沉积地层也不太可能是成矿流体的源区。前人对扬子克拉通基底的 Sr 同位素组成研究发现,基底岩石通常具有高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值,如古元古代基底岩石的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值范围是 0.71368~0.71837^[9],与本次研究获得 Ap2 和 Ap3 的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值非常接近,说明成矿流体可能是基底变质形成或者是深部岩浆流体在上升过程中受到了基底放射成因 Sr 的加入。

3 结论

通过对右江盆地八渡卡林型金矿床辉绿岩赋存矿体中的磷灰石进行详细的矿物学、化学组分和 Sr 同位素组成分析,本次研究发现成矿前磷灰石具有富集 Cl、OH、Mn、Mg、Si 的特征,而主成矿阶段和成矿晚阶段磷灰石以富集 F 和 Sr 为特征。除了主成矿阶段磷灰石相对富集 S 之外,主成矿阶段磷灰石和成矿

晚阶段磷灰石具有相似的化学组分特征,其稀土配分型式均富集中稀土(MREE)和具有轻微Eu正异常。主成矿阶段和成矿晚阶段磷灰石Sr同位素组成及其与辉绿岩围岩、区域地层全岩Sr同位素组成的对比分析表明,八渡矿床成矿流体来源可能是基底变质形成或者是深部岩浆流体在上升过程中受到了基底放射成因Sr的加入。右江盆地进一步的找矿勘探可扩展到区域上的辉绿岩产出区域,尤其是含有粗粒磷灰石的辉绿岩具有重要的找矿潜力。

致谢:本文为国家自然科学基金项目(41963004)和广西科技计划项目(桂科AD19110050)资助成果。在野外工作期间,得到中国地质科学院地质研究所丘小平研究员和广西金丰业有限公司马建文总工程师的大力帮助,在此表示衷心感谢。

参考文献

- [1] Arehart G B . Characteristics and origin of sediment-hosted disseminated gold deposits: a review [J] . Ore Geology Reviews , 1996 , 11 (6) : 383-403 .
- [2] Hu R Z , Fu S L , Huang Y , et al . The giant South China Mesozoic low-temperature metallogenic domain: Reviews and a new geodynamic model[J] . Journal of Asian Earth Sciences , 2017 , 137: 9-34 .
- [3] 胡瑞忠 ,付山岭 ,肖加飞 .华南大规模低温成矿的主要科学问题[J] .岩石学报 ,2016 ,32 (11) : 3239-3251 .
- [4] Su W C , Heinrich C A , Pettke T , et al . Sediment-Hosted Gold Deposits in Guizhou, China: Products of Wall-Rock Sulfidation by Deep Crustal Fluids[J] . Economic Geology , 2009 , 104 (1) : 73-93 .
- [5] Zhao X F , Zhou M F , Gao J F , et al . In situ Sr isotope analysis of apatite by LA-MC-ICPMS: constraints on the evolution of ore fluids of the Yinachang Fe-Cu-REE deposit, Southwest China[J] . Mineralium Deposita , 2015 , 50 (7) : 871-884 .
- [6] Zeng L P , Zhao X F , Li X C , et al . In situ elemental and isotopic analysis of fluorapatite from the Taocun magnetite-apatite deposit, Eastern China: Constraints on fluid metasomatism[J] . American Mineralogist , 2016 , 101 (11) : 2468-2483 .
- [7] Piccoli P M , Candela P A . Apatite in igneous systems[J] . Reviews in Mineralogy & Geochemistry , 2002 , 48 (1) : 255-292 .
- [8] Puchelt H , Emmermann R . Bearing of rare earth patterns of apatites from igneous and metamorphic rocks[J] . Earth and Planetary Science Letters , 1976 , 31 : 279-286 .
- [9] Chen W T , Zhou M F , Gao J F . Constraints of Sr isotopic compositions of apatite and carbonates on the origin of Fe and Cu mineralizing fluids in the Lala Fe-Cu-(Mo, LREE) deposit, SW China[J] . Ore Geology Reviews , 2014 , 61 : 96-106 .