

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

哀牢山金矿带成矿流体稀土元素地球化学

毕献武 胡瑞忠

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳, 550002)

内容提要 本研究测定了矿石、蚀变围岩和相应未蚀变岩石的稀土元素组成。通过对这些地质体稀土元素地球化学特征的对比研究发现, 在成矿流体的演化过程中, 镇沅和墨江两个金矿床成矿流体的稀土模式具有明显的变化, 而大坪金矿成矿流体的稀土模式则保持相对不变。因此, 大坪金矿的稀土模式(轻稀土高度富集、弱负 Eu 异常和较强负 Ce 异常)可以代表初始成矿流体的稀土模式。研究表明, 具有这种稀土模式的流体, 可能是由地幔去气作用产生的地幔流体。

关键词 哀牢山金矿带 成矿流体 初始成矿流体 稀土元素地球化学

哀牢山金矿带是我国西南“三江”构造成矿带的重要组成部分之一。该带的重要金矿床自北而南依次有镇沅金矿、墨江金矿和大坪金矿。已有研究^[1]表明, 尽管这3个金矿床在赋矿围岩的岩性和时代、金矿化类型和提供金源的岩石种类等方面都有一定的差异, 但金成矿在整个带上则基本同时, 主要为喜马拉雅早期(50Ma±)。大区域内3个金矿床成矿的同时性, 反映其初始成矿流体的形成机制应具相似性。本文旨在通过对这3个金矿床赋矿围岩蚀变过程中稀土元素地球化学行为的研究, 揭示金成矿过程中稀土元素的变化特征, 确定初始成矿流体的稀土元素组成, 并在此基础上探讨初始成矿流体的可能来源。

1 地质概况

哀牢山变质带位于北西向的红河深大断裂与阿墨江深大断裂之间, 北起弥渡, 向南延伸进入越南。其东为扬子地块, 西为中甸地块。变质带中的北西向哀牢山深大断裂将该带一分为二, 即东边的前寒武系深变质带和西侧的显生宙浅变质带。在哀牢山变质带中目前已发现若干重要的金矿床和金矿点, 这些金矿床和金矿点都集中在浅变质带中, 此即哀牢山金成矿带(图1)。金矿带内主要金矿床(镇沅金矿、墨江金矿和大坪金矿)的地质特征见表1。

2 稀土元素组成特征

2.1 分析方法和结果

本研究利用中子活化法分析了上述3个金矿床赋矿围岩(蚀变岩石和新鲜岩石)和大坪金矿矿石的稀土组成。样品分析由成都理工学院三系完成, 分析结果见表2, 文中的稀土模式图采用 Boynton(1984)球粒陨石标准化。

2.2 成矿过程中稀土元素变化特征

Hopf^[2]和 Bau^[3]的研究表明, 运用热液蚀变样品相对于未蚀变样品的稀土元素标准化图

解,可以判断成矿或蚀变过程中稀土元素的地球化学行为。图2(A、B、C)为镇沅金矿、墨江金矿和大坪金矿中蚀变岩石与相应未蚀变岩石的球粒陨石标准化稀土模式,图3(A、B、C)为各金矿床中蚀变岩石相对于相应未蚀变岩石的稀土元素标准化曲线。从表2、图2和图3可以看出,镇沅金矿超基性岩的 $(La/Lu)_{cn}=31.91$, $\delta Eu=1.54$,轻稀土分馏程度明显强于重稀土($(La/Sm)_{cn}=10.25$, $(Tb/Yb)_{cn}=2.80$)。与超基性岩相比,蚀变超基性岩的 $(La/Lu)_{cn}$ 降低,蚀变岩石对未蚀变岩石的标准化曲线显示蚀变岩石的轻稀土明显亏损(即蚀变岩石/未蚀变岩石的轻稀土标准化值 <1),但在蚀变过程中重稀土分馏弱,几乎不显变化特征。

墨江金矿超基性岩的 $(La/Lu)_{cn}=0.28$, $\delta Eu=0.84$,重稀土分馏程度弱于轻稀土($(La/Sm)_{cn}=0.60$, $(Tb/Yb)_{cn}=0.98$);蚀变超基性岩的 $(La/Lu)_{cn}=1.46$, $\delta Eu=0.88$, $(La/Sm)_{cn}=1.04$, $(Tb/Yb)_{cn}=2.04$,重稀土分馏程度强于轻稀土。蚀变岩石相对于未蚀变岩石的标准化曲线显示,与超基性岩相比蚀变超基性岩的轻稀土增加但重稀土亏损,表明在成矿或蚀变过程中轻、重稀土均具有明显的活动性。

大坪金矿闪长岩的 $(La/Lu)_{cn}=5.14$, $\delta Eu=0.62$,轻稀土分馏程度大于重稀土($(La/Sm)_{cn}=2.54$, $(Tb/Yb)_{cn}=1.72$);蚀变闪长岩的 $(La/Lu)_{cn}=3.97$, $\delta Eu=0.86$, $(La/Sm)_{cn}=1.95$, $(Tb/Yb)_{cn}=1.36$ 。闪长岩和蚀变闪长岩的稀土模式近于平行。蚀变闪长岩相对于未蚀变闪长岩的标准化曲线呈现出相对平坦的趋势,除Eu分馏较显著外,其它元素的标准值均近于1,表明在成矿或蚀变过程中稀土元素的活动性相对不明显或轻、重稀土的变化具有协调性。

Hopf^[2]研究表明,在热液蚀变过程中形成的蚀变岩石的稀土模式受流体/岩石比值、蚀变程度和所形成的次生矿物类型的控制。当蚀变强度低和次生矿物种类较少时,即流体/岩石比值较低时,产生与新鲜岩石近于平行的稀土模式;当流体/岩石比值高或蚀变矿物与原岩成分差别较大时,产生与相应新鲜岩石“不协调”的稀土模式。根据以上分析不难发现,镇沅、墨江和大坪金矿的围岩在热液蚀变过程中,稀土元素的活动性存在明显的差异。其中,镇沅金矿的蚀变围岩与未蚀变围岩相比,明显亏损轻稀土,而墨江金矿则显示轻稀土富集、重稀土亏损的特

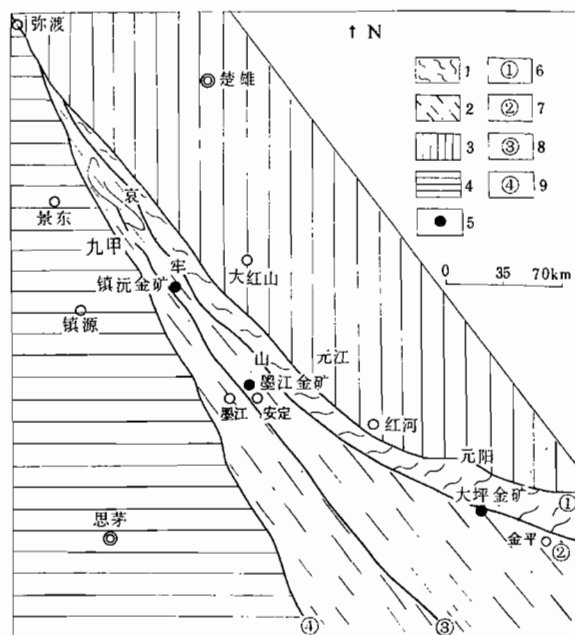


图1 哀牢山金矿带区域地质简图
(据云南地质三队,简化)

Fig. 1 Geological sketch map of Ailaoshan gold belt
(Simplified after the Third Team of the Geological and Mineral Resource Bureau of Yunnan Province)

1—哀牢山深变质带; 2—哀牢山浅变质带; 3—扬子地块; 4—中甸地块; 5—金矿位置; 6—红河深大断裂; 7—哀牢山深大断裂; 8—九甲—安定深大断裂; 9—阿墨江深大断裂
1—Ailaoshan katazone; 2—Ailaoshan epimetamorphic belt; 3—Yangtze plate; 4—Zhongdian plate; 5—location of gold deposit; 6—Honghe deep fault; 7—Ailaoshan deep fault; 8—Jiujia—Anding deep fault; 9—Amojiang deep fault

征,两个矿床均表现出蚀变超基性岩与新鲜超基性岩之间具“不协调”的稀土配分趋势,意味着在热液蚀变或成矿过程中,流体/岩石的比值相对较高,稀土元素在成矿流体—围岩间具有明显的带进或带出。大坪金矿蚀变闪长岩与新鲜闪长岩近于平行的稀土模式、以及蚀变闪长岩次生矿物中出现绿帘石的特征则意味着,在热液蚀变或成矿过程中,具有相对较低的流体/岩石比值(绿帘石和钠长石的存在是低渗透率、低流体/岩石比值的标志^[3]),稀土元素在成矿流体—围岩间不存在明显的交换或者由于围岩对流体轻、重稀土的“协调”贡献而使得这种交换不致于明显影响成矿流体的稀土模式。

表1 哀牢山金矿带主要金矿床地质特征一览表

Table 1 Geological characteristics of major gold deposits in Ailaoshan gold belt

	镇沅金矿	墨江金矿	大坪金矿
构造部位	九甲—安定断裂上盘	九甲—安定深大断裂中段西侧	哀牢山深大断裂的次级断裂——小寨金平断裂和三家河断裂之间
出露地层	上泥盆统硅质板岩、变质细粒石英杂砂岩、石炭—三叠系的薄板状、条纹条带状含碳泥质灰岩钙质绢云板岩	中、下志留统金厂组浅变质岩系,上三叠统一碗水组红层	奥陶系—志留系的浅变质碎屑岩和碳酸盐岩
岩浆岩	超基性岩、玄武岩、花岗斑岩和煌斑岩	超基性岩、花岗斑岩和煌斑岩	闪长岩、花岗闪长岩和煌斑岩
赋矿围岩	浅变质细碎屑岩、玄武岩、超基性岩和煌斑岩	志留系浅变质细碎屑岩、超基性岩	闪长岩、花岗闪长岩
载金矿物	黄铁矿、石英	石英、黄铁矿	石英、黄铁矿
矿化类型	蚀变岩型	蚀变岩型+石英脉型	石英脉型
围岩蚀变	硅化、碳酸盐化、绢云母化、黄铁矿化	硅化、碳酸盐化、黄铁矿化、绢云母化	硅化、绢英岩化、黄铁矿化

表2 哀牢山金矿带主要金矿床稀土元素组成特征($\times 10^{-6}$)Table 2 REE compositions ($\times 10^{-6}$) of major gold deposits in Ailaoshan gold belt

	岩性	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	($\frac{La}{Lu}$) _{cn}	($\frac{La}{Sm}$) _{cn}	($\frac{Tb}{Yb}$) _{cn}	δEu	ΣREE
镇沅	超基性岩	2.77	4.93	1.50	0.17	0.07	0.02	0.06	0.01	31.91	10.25	1.47	1.54	9.53
	蚀变超基性岩	0.57	1.01	0.54	0.13	0.05	0.02	0.06	0.01	5.91	2.80	1.47	1.32	2.39
墨江	超基性岩	0.19	0.38	0.40	0.20	0.07	0.06	0.27	0.07	0.28	0.60	0.98	0.84	1.64
	蚀变超基性岩	0.28	0.62	0.60	0.17	0.07	0.06	0.13	0.02	1.46	1.04	2.04	0.88	1.95
大坪	闪长岩	27.23	50.82	28.67	6.75	1.48	1.37	3.52	0.55	5.14	2.54	1.72	0.62	120.39
	蚀变闪长岩	14.89	28.93	16.52	4.81	1.29	0.78	2.53	0.39	3.97	1.95	1.36	0.86	70.14
	矿石	1.98	3.37	2.85	0.47	0.10	0.06	0.15	0.02	10.22	2.65	1.78	0.75	9.00

测定单位:成都理工学院三系。

2.3 初始成矿流体稀土组成特征

研究表明,石英属架状结构矿物,硅与同处于周期表中第六周期第Ⅲ副族的各稀土元素无任何亲合性,稀土元素不可能以类质同象混入物形式进入石英晶格中^[4]。因此,石英中的稀土元素应主要赋存于其中的流体包裹体内^[5,6]。显而易见,石英的稀土模式可以近似反映石英沉淀时成矿流体的稀土模式特征。

在镇沅金矿、墨江金矿和大坪金矿,石英是重要的载金矿物或与金共生的矿物。如前所述,在墨江金矿和镇沅金矿的成矿过程中,成矿流体内轻、重稀土的带进或带出具有明显选择性,

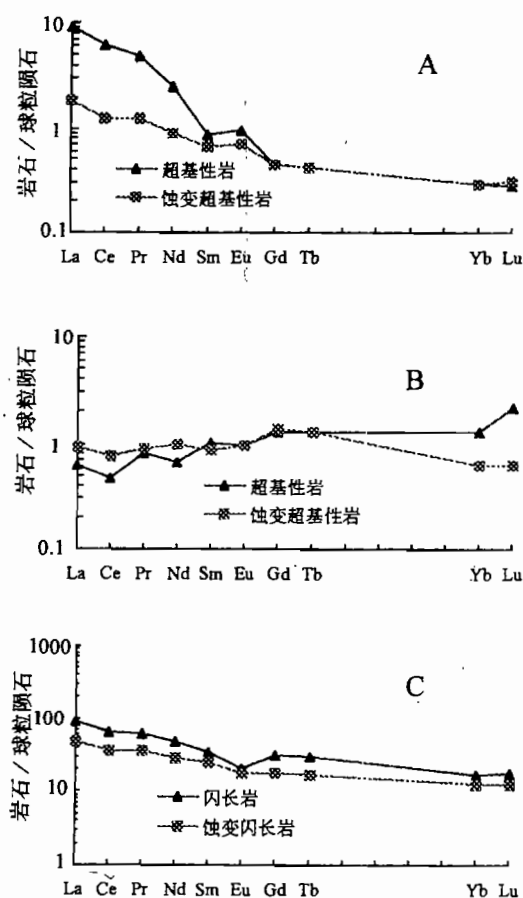


图2 蚀变岩石和未蚀变岩石的球粒陨石
标准化稀土模式

Fig. 2 Chondrite normalized REE patterns
of altered and unaltered rocks

A—镇沅金矿; B—墨江金矿; C—大坪金矿
(图中Pr、Gd点为内插值)

A—Zhenyuan gold deposit; B—Mojiang gold deposit;
C—Daping gold deposit

(In the figure, The points of Pr and Gd are inferred)

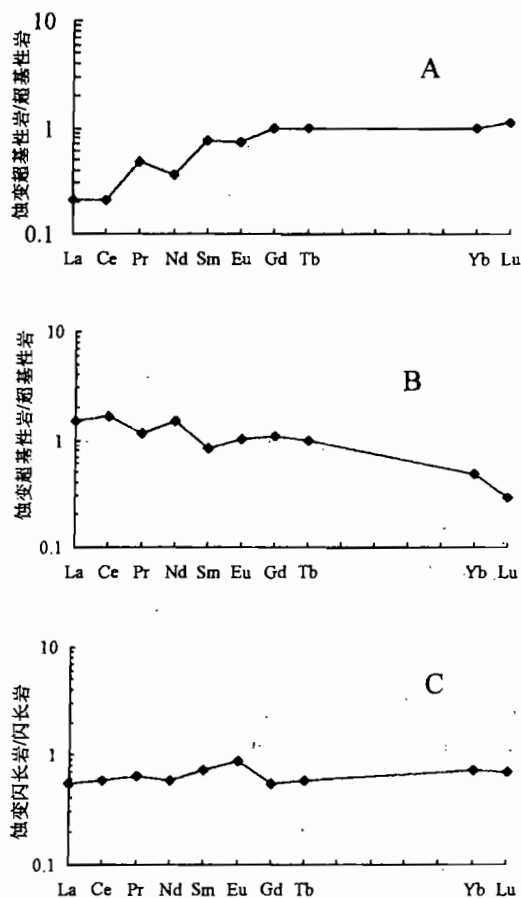


图3 蚀变岩石相对于未蚀变岩石
的稀土元素标准化曲线

Fig. 3 Normalized REE diagram of altered
rocks related to unaltered rocks

A—镇沅金矿; B—墨江金矿; C—大坪金矿
(图中Pr、Gd点为内插值)

A—Zhenyuan gold deposit; B—Mojiang gold deposit;
C—Daping gold deposit

(In the figure, The points of Pr and Gd are inferred)

其主成矿期石英的稀土模式当不能代表成矿流体的初始稀土组成特征;而大坪金矿的稀土模式在成矿流体的演化过程中则无明显变化。因此,可用大坪金矿主成矿期石英的稀土模式(图4),近似代表本区初始成矿流体的稀土模式。

3 初始成矿流体来源讨论

从图3可以看出,本区初始成矿流体的稀土模式具有轻稀土高度富集,弱负Eu异常和较明显的负Ce异常的特征。已有研究表明,具这种稀土模式的流体不可能以海水、建造水和大气

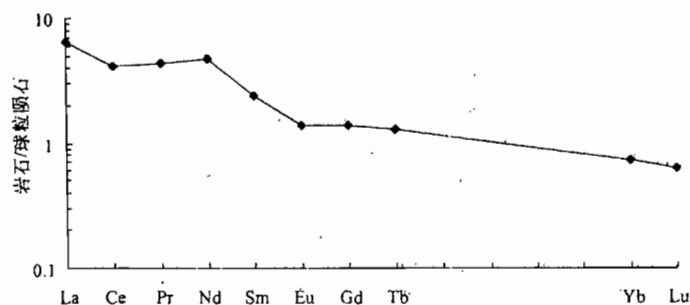


图4 初始成矿流体的稀土模式

(图中 Pr, Gd 是内插值)

Fig. 4 The REE pattern of the primary ore-forming fluid

(In the figure, The points of Pr and Gd are inferred)

作用的发生,亦有利于深源流体向浅部运移;③研究区喜马拉雅早期的陆下地幔为交代富集地幔,而地幔交代流体以富含挥发份为特征^[9,10];④有关哀牢山金矿带成矿流体化学组成的研究^[11]表明,本区的成矿流体中富含 F、Cl、S 和 CO₂ 等挥发性组分, S、C、He、Ar 同位素组成^①显示成矿流体中有大量幔源挥发份存在;⑤尽管区内幔源富碱斑岩和煌斑岩的成岩时代^[8,9]与金成矿时代^[1]相当,但因出露面积小,由其分异出的流体量不可能太多,况且目前并无证据证实本区富碱斑岩岩浆和煌斑岩岩浆在喜马拉雅早期曾分异出了富挥发份的流体。因此,具上述稀土模式的初始成矿流体,可能确实是由地幔去气作用产生的流体。

4 结论

综上所述,本文得出以下认识:①镇沅和墨江两个金矿床,在成矿流体的演化过程中,流体的稀土组成具有明显的变化,因此不能用石英沉淀时成矿流体的稀土元素组成,代表初始成矿流体的稀土组成特征。②大坪金矿床在成矿流体的演化过程中,流体的稀土模式保持了相对不变的特性,目前通过石英测得的成矿流体的稀土模式,基本可以代表初始成矿流体的稀土模式特征。③哀牢山金矿带内 3 个金矿床成矿的同时性,反映它们应有组成相似的初始成矿流体。由大坪金矿初始成矿流体的稀土模式反映出,哀牢山金矿带各金矿床的初始成矿流体,可能是地幔去气作用产生的地幔流体,这与根据其它证据所揭示的事实相吻合。

本文野外工作得到镇沅金矿、墨江金矿和大坪金矿地测科的大力支持,谨致谢忱。

参考文献

- 1 毕献武, 胡瑞忠, 何明友: 哀牢山金矿带 ESR 年龄测定及其地质意义. 科学通报, 1996, (14): 1301~1303.
- 2 Hopf S. Behaviour of rare earth elements in geothermal systems of New Zealand. Journal of Geochemical Exploration, 1993, 47: 333~357.
- 3 Bau M. Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and the significance of the oxidation state of europium. Chemical Geology, 1991, 93: 219~230.
- 4 刘英俊. 元素地球化学. 北京: 科学出版社, 1984.

① 胡瑞忠, 毕献武, 何明友等. 哀牢山金矿带矿化剂对金成矿的制约. 中国科学(D辑)(待刊).

降水为主;与拉张或裂谷环境相联系,产生这种稀土模式的流体,可能是由碱性岩浆分异和(或)地幔去气作用产生的富含挥发份的地幔流体^[7]。

基于:①哀牢山金矿带金成矿主要集中在喜马拉雅早期^[1];②喜马拉雅早期区域深大断裂的继承性活动和沿深大断裂分布的幔源富碱斑岩和煌斑岩的侵入,指示了本区在喜马拉雅早期处于地壳拉张并与地幔沟通的构造环境^[8,9],这种环境有利于地幔去气

- 5 Rossman G R, Wei's D, Wasserburg G J, Rb, Sr, Nd and Sm concentration in quartz. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1987, 51:2325~2329.
- 6 Norman D I, Kyle P R, Baron C. Analysis of trace elements including rare earth elements in fluid inclusion liquid. *Econ. Geol.*, 1989, 84:162~166.
- 7 王京彬,李朝阳. 金顶超大型铅锌矿床稀土元素地球化学研究. *地球化学*, 1991, (4):359~365.
- 8 张玉泉,谢应雯,涂光炽. 哀牢山—金沙江富碱侵入岩及其与裂谷构造关系初步研究. *岩石学报*, 1987, (1):17~25.
- 9 黄智龙,王联魁. 云南老王寨金矿区煌斑岩的地球化学. *地球化学*, 1996, (3):255~263.
- 10 杜乐天. 慢汁(HACONS)流体. *大地构造与成矿学*, 1988, (1):88~93.
- 11 毕献武,胡瑞忠,何明友. 哀牢山金矿带主要金矿床成矿流体特征. *矿物学报*, 1997, 17(4):435~441.

REE Geochemistry of Ore-forming Fluids of the Ailaoshan Gold Metallogenic Belt

Bi Xianwu and Hu Ruizhong

(Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou, 550002)

Abstract

REE compositions of ores, altered rocks and related unaltered rocks have been determined. Comparative studies of REE geochemical characteristics of these geologic bodies indicate that REE patterns of ore-forming fluids in the Zhenyuan and Mojiang gold deposits show marked changes, while that of the Daping gold deposit remains relatively unchanged. Therefore, the REE pattern (strong LREE enrichment, weak negative Eu anomaly and strong Ce anomaly) of ore-forming fluids of the Daping gold deposit can represent the REE pattern of primary ore-forming fluids. Studies indicate that the ore-forming fluids with such a REE pattern might be CO₂-riched mantle fluids produced by mantle degassing.

Key words: Ailaoshan gold metallogenic belt; ore-forming fluid; initial ore-forming fluid; REE geochemistry

作者简介

毕献武,女,1967年生,1988年毕业于中国地质大学(武汉),1996年在中国科学院地球化学研究所获硕士学位,现在该所攻读博士学位,主要从事矿床地球化学研究。通讯地址:550002,贵阳市观水路中国科学院地球化学研究所。