## 云南东川铜矿硅质白云岩稀土元素地球化学特征。

潘含江<sup>1,2</sup>,方维萱<sup>1,2</sup>,郭茂华<sup>2</sup>,杨新雨<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学,北京 100083; 2. 有色金属矿产地质调查中心北京资源勘查技术中心,北京 100012;)

摘 要:根据东川铜矿钻孔岩芯样品的 REE 分析数据,表明硅质白云岩向辉绿辉长岩的方向 ΣREE 逐 浙富集,辉绿辉长岩的ΣREE 为最高值。白云岩与辉绿辉长岩REE 配分模式相似,说明它们的REE 来源 相同。北美页岩(NAAS)标准化配分模式中,硅质白云岩为Eu 正异常(δEu:0.99~1.37),δCe 在0.90~ 0.94 之间,REE 分布模式与已经报道的现代大洋中脊喷口沉积物相似,表明其在形成过程中受岩浆热 液影响。

关键词:铜矿床;硅质白云岩;稀土元素;地球化学特征;东川;云南
中图分类号:P618.42
文献标识码:A
文章编号:1001-5663(2008)04-0342-05

### 0 引言

热水喷流沉积成岩成矿是当前备受关注的热点 问题<sup>[1~8]</sup>。云南东川是全国著名的铜矿集中区,产于 元古代昆阳裂谷中,目前普遍认为是由于喷流一沉积 及后期改造形成的<sup>[9]</sup>。喷流一沉积成矿系列产于昆阳 裂谷发展初期,含矿地层由昆阳群因民组、落雪组及 黑山组组成。

矿区地层内发育有大量碳酸盐岩建造,尤其是元 古界昆阳群落雪组(Pt2kn2l)和因民组(Pt2kn2y),这 也是目前东川式铜矿的主要含矿层,其中有不少硅质 白云岩<sup>[10]</sup>。矿区岩浆活动强烈,活动时间长,活动的 高峰主要在因民期和晋宁晚期。因民期以火山岩为 主,晋宁晚期以侵入岩为主。火山岩主要为细碧角斑 岩系,其次为玄武岩,局部地段见粗面岩。火山碎屑岩 有火山角砾岩、凝灰岩、沉积凝灰岩等。侵入岩主要为 辉长岩、辉绿岩及少量的钠长闪长岩、石英钠长斑岩 等。火山岩及火山碎屑岩主要见于因民组底部,其次 为小溜口组、黑山组。侵入岩主要沿落因破碎带及其 两侧的横断层、纵断裂侵入,呈岩墙、岩脉状产出。

稀土元素具有十分相近的地球化学行为,它们的 运动与组合规律是一定的地质与物化条件的反映,是 一种地球化学指示剂,对于判别物质来源和成岩成矿 环境具有重要的指示意义<sup>[11~19]</sup>。本文将以稀土元素 地球化学特征为依据,探讨东川地区硅质白云岩物质 来源等问题。

#### 2 样品采选和测试

从东川烂泥坪矿区ZK59-2 号钻孔中采集的样品 中,由浅到深连续选取了ZK59-2-H39 到ZK59-2-H47 一共9件样品。样品采集采用分层连续捡块方法,样 重大于 500g,样品编号、所在钻孔的深度及岩性手标 本描述见表1。

样品在经过清洗、编录和拍照后。在北京地质调 查研究院加工细碎,缩分后再经过棒式研磨至-200 目,样重200g。

样品微量元素分析在核工业北京地质研究院完成,稀土元素样品在经过三酸法溶解后,进行 ICP-MS 分析。分析仪器为德国 Finnigan-MAT 公司的 ELEMENT I 型等离子质谱仪(ICP-MS)。仪器工 作温度25℃,工作相对湿度40%。所有稀土元素的含量均高于检出下限,分析误差小于5%,测试结果见 表2。

① 收稿日期:2008-04-10 作者简介:潘含江(1986-),男,中国地质大学(北京)本科生,地球化学专业。

基金项目:由国家科技支撑项目(东川一易门铜矿山深部及外围勘查技术及示范研究2006BAB01B09)及云南省昆明市东川区东川铜矿接替 资源勘查项目(200553026)资助。

#### 表1 东川铜矿样品采集深度及岩性描述

Table 1 Samples' collecting depth in the Dongchuan Cu deposit and their lithology description

序号	样品编号	钻孔深度(m)	岩 性 描 述
1	ZK59-2-H39	443.65~449.35	灰绿色蚀变辉绿辉长岩。辉绿结构,块状构造。岩石主要由细粒钠长石化斜长石和角闪石化、次闪石化辉石组成。岩石中见有少量黄铜矿。
2	ZK59-2-H40	449. 35~455. 32	灰白色、浅灰绿色黄铜矿化火山凝灰质硅质粉晶白云岩。白云石占75%,凝灰质10%,石英 12%,岩石中含少量黄铜矿、黄铁矿,黄铁矿呈细粒(0.02mm)散点状分布,分布不均,黄铁 黄铜矿含量1%~2%。
3	ZK59-2-H41	455. 32~459. 4 <b>8</b>	浅灰色黄铜、斑铜矿化含凝灰质硅质白云岩。岩石粉晶结构,中厚层构造、岩石多由细一粉 晶铁白云石,含量约占70%。硅化石英占15%~20%,凝灰质约占5%~10%。黄铜矿、斑铜 矿细脉状分布为主,次为星散状,含量约为1%。
4	ZK59-2-H42	459. 48~474. 78	灰色黄铁、黄铜矿化、镜铁矿化含火山凝灰质硅质凝灰岩。岩石主要由细粒铁白云石组成, 含硅化石英。凝灰质约5%,星散状黄铁黄铜矿少量。
5	ZK59-2-H43	474. 78~478. 81	浅肉红色、浅灰色薄层状,硅质粉晶白云岩。岩石含少量黄铁矿,见有灰黑色绢云母、白云母 板岩角砾。岩石含有少量碧玉(透镜状),见有少量硅化白云石脉。
6	ZK59-2-H44	<b>478. 81~488</b> . 85	青灰色碎裂状硅质白云岩夹灰黑色绢云母板岩,纹层状构造明显。岩石以白云石为主,次为 硅质、泥质,泥质已绢云母化,岩石中见有少量星散状分布的黄铁矿和斑铜矿,裂隙面可见 黄铜矿分布。
7	ZK59-2-H45	<b>488. 85∼492. 16</b>	浅肉红色、灰色条纹状,硅质粉晶白云岩。细粒结构,层状构造。铁白云石占80%,砂状石英 约占10%,火山凝灰质占5%,硅化碳酸盐脉约2%~3%,伴随石英脉出现黄铁黄铜矿化,含 量小于1%。
8	ZK59-2-H46	<b>492.</b> 16~502. 97	灰色、肉红色细晶硅质白云岩,伴随少量铁矿化,黄铁矿呈半自形和自形,伴随石英细脉出现,硅化石英占8%。
9	ZK59-2-H47	502. 97~510. 87	浅肉红色纹层状硅质粉晶白云岩,硅质以碧玉形式夹于白云岩中,形成条纹状构造,硅质含 量约10%,其余以粉晶白云岩为主。岩石中有石英细脉穿插,另含少量星散状黄铁矿,部分 已褐铁矿化。

表 2 东川样品 REE 含量及一些参数值

Table 2 REI	E content	of the Do	ngchuan :	samples w	vith some	relating p	arameters	w	<sub>(B)</sub> /10 <sup>-6</sup>
元素及参数	ZK59- 2-H39	ZK59- 2-H40	ZK59- 2-H41	ZK59- 2-H42	ZK59- 2-H43	ZK59- 2-H44	ZK59- 2-H45	ZK59- 2-H46	ZK59- 2-H47
La	28.7	2. 90	3.62	2.79	2.90	4.09	2.04	2.00	2. 52
Ce	61.7	5.97	7.24	6.03	6.33	7.86	4.24	4.03	5.05
Pr	7.84	0.70	0.82	0.76	0.74	0.84	0.52	0.45	0.59
Nd	33.4	2.82	3.05	2.97	2.87	3.02	1.86	1.65	2.20
Sm	8.53	0.71	0.64	0.70	0.70	0.62	0.39	0.38	0.52
Eu	3.71	0.23	0.17	0.16	0.19	0.18	0.10	0.10	0.15
Gd	9.29	0.73	0.66	0.70	0.70	0.64	0.38	0.40	0.48
Ть	1.69	0.14	0.11	0.12	0.13	0.12	0.06	0.07	0.09
Dy	10.6	0.94	0.76	0.73	0.84	0.79	0.38	0.41	0.59
Но	2.06	0.19	0.16	0.16	0.20	0.18	0.08	0.09	0.10
Er	5.49	0.59	0.51	0.47	0.62	0.61	0.26	0.25	0.34
Tm	0.75	0.09	0.08	0.07	0.10	0.09	0.04	0.03	0.04
Yb	4.78	0.66	0.50	0.42	0.61	0.71	0.26	0.25	0.32
Lu	0.73	0.09	0.07	0.06	0.10	0.11	0.04	0.03	0.05
Y	51.8	5.42	4.89	4.46	5.80	6.20	2.45	2.47	3.27
ΣREE	231	22.2	23. 3	20.6	22.8	26.1	13.1	12.6	16.3
SLREE	144	13.4	15.5	13.4	13.7	16.6	9.15	8.62	11.0
ΣHREE	87.2	8.45	7.76	7.20	9.09	9.47	3.94	3.99	5.271
SLREE/SHREE	1.65	1.51	2.00	1.86	1.51	1.75	2.32	2.16	2.09
δCe	0.90	0.91	0.92	0.90	0.94	0.93	0.90	0.92	0.90
δEu	1.83	1.37	1.18	0.99	1.18	1.23	1.17	1.18	1.30
(La/Sm) <sub>N</sub>	0.60	0.73	1.01	0.71	0.74	1.18	0.94	0.94	0.86
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	1.16	0.66	0.78	0.10	0.69	0.54	0.88	0.97	0.89
(La/Yb) <sub>N</sub>	0.58	0.43	0.70	0.64	0.46	0.56	0. 78	0.79	0.77

\*:本文数据采用北美页岩(NAAS)标准化

本文中稀土元素总量( $\Sigma REE$ )为镧系 14 个元素 和钇含量之和,铈(Ce)和铕(Eu)异常的计算公式为:  $\delta Ce = Ce_N/(La_N \times Pr_N)^{1/2}$ ,  $\delta Eu = Eu_N/(Sm_N \times Gd_N)^{1/2}$ ,用 40 个北美页岩的组合样进行标准化 (Haskin 等 1968)<sup>[11]</sup>。

样品稀土元素含量和 $\Sigma$ REE(总稀土元素含量)、  $\delta$ Ce、 $\delta$ Eu、(La/Ce)<sub>N</sub>和(La/Yb)<sub>N</sub>结果见表2,辉绿辉 长岩(ZK59-2-H39)总稀土元素含量最高( $\Sigma$ REE= 231×10<sup>-6</sup>),其下4件铜铁矿化凝灰质硅质白云岩样 品的 $\Sigma$ REE值明显降低(20.6×10<sup>-6</sup>~23.3×10<sup>-6</sup>), 平均值为22.2×10<sup>-6</sup>。ZK59-2-H44样品在白云岩样 品中 $\Sigma$ REE含量最高为26.1×10<sup>-6</sup>,这与其所夹灰黑 色绢云母板岩有关。底部的三件硅质白云岩样品  $\Sigma$ REE最低(12.6×10<sup>-6</sup>~16.3×10<sup>-6</sup>),平均14.0× 10<sup>-6</sup>。所有硅质白云岩的总稀土元素含量平均值为 19.6×10<sup>-6</sup>。可见由底部的浅肉红色硅质白云岩向上 铜铁矿化凝灰质硅质白云岩再到辉绿辉长岩的  $\Sigma$ REE有升高的趋势。

所有样品的ΣLREE/ΣHREE 变化范围为1.51~ 2.32,(La/Yb)<sub>N</sub>为0.48~0.79、(La/Sm)<sub>N</sub>为0.60~ 1.18、(Gd/Yb)<sub>N</sub>为0.537~1.16。辉绿辉长岩的(La/ Sm)<sub>N</sub>值最低(0.599)、(Gd/Yb)<sub>N</sub>值最高(1.159),而 各硅质白云岩样品之间的(La/Sm)<sub>N</sub>、(Gd/Yb)<sub>N</sub>值 较平均,分别为0.73~1.16、0.54~0.97。所有样品均 为重稀土元素富集型,北美页岩标准化后曲线左倾, LREE 和HREE 内部均有分异,但HREE 本身分异稍 微强烈一些<sup>[12]</sup>。

δCe 为 0. 90~0. 94,Ce 呈弱的负异常,变化不 大。δEu 为0. 99~1. 83,其中辉绿辉长岩为1. 83、白云 岩在 0. 99~1. 37 之间,数值有一定波动,Eu 为正异 常。

#### 4 讨论

从ZK59-2-H47 到ZK59-2-H39,岩性呈现从硅质 白云岩到铜铁矿化凝灰质硅质白云岩(夹有少量板 岩)再到辉绿辉长岩的变化,这反映了岩浆活动逐渐 加强,总稀土元素含量的变化也与该成岩环境变化一 致,即 ΣREE 逐步升高,这明显的反映在稀土元素分 布图中。 图1至图4为稀土元素分布图。图1为所有样品 球粒陨石标准化(Sun&McDonald,1989)的分布图, 如前所述辉绿辉长岩的稀土元素总量远远高于白云 岩,白云岩之间也呈现出一定的分异现象,即越接近 辉绿辉长岩的样品稀土元素总量越高。这反映了地层 自下而上沉积时受岩浆热液作用越来越强烈。可以明 显看出在球粒陨石作为标准的情况下辉绿辉长岩 Eu 富集,而白云岩Eu 普遍亏损,这是由于辉绿辉长岩 Eu 富集,而白云岩Eu 普遍亏损,这是由于辉绿辉长岩中 含有较多长石、辉石、角闪石等矿物对Eu 有富集左右 的矿物的结果,而白云岩中此类矿物含量较少而呈现 负异常<sup>[13]</sup>。白云岩与辉绿辉长岩稀土元素分布曲线 相似,都呈右倾但斜度都不大,说明白云岩中稀土元 素来源与辉绿辉长岩相似。

图 2、图 3、图 4 为样品稀土元素北美页岩标准化 分布曲线图(Haskin 等 1968)<sup>[11]</sup>,与球粒陨石标准化 分布曲线有一定区别。首先所有样品Eu 都为正异常, 反映了白云岩从岩浆或热液中继承了稀土元素。铜铁



normalized REE patterns



344

矿化凝灰质硅质白云岩分布曲线较硅质白云岩与辉 绿辉长岩曲线更为相似,为向左倾斜,硅质白云岩接 近平坦型,这与铜铁矿化凝灰质硅质白云岩中铜铁矿 化及凝灰质有关<sup>[14]</sup>,说明硅质白云岩成岩环境由热 液喷流向火山喷流转变。在一定程度上也能反映铜、 铁成矿元素的来源,即岩浆热液物质来源。



土元素北美页岩标准化分布曲线

Fig. 3 NAAS normalized REE pattern of the Cu-Fe mineralized tuffaceous siliceous dolomite



of the siliceous dolomite

稀土元素一般只以+3价形式存在,但Ce和Eu 较为特殊,Ce可以呈+4价,Eu可为+2价。当Ce为 +4价、Eu呈+2价时与其他稀土元素性质不同,发 生分离,出现异常行为。研究表明, dCe在成岩作用过 程中变化不大,因此可以根据大洋中脊 dCe最低(平 均0.29)、大洋盆地拥有中等的 dCe(平均0.60)、大陆 边缘的 dCe最高(平均1.03)<sup>[17]</sup>来确定海洋中沉积岩 的形成环境。dCe越大,说明受陆源影响越大。本次采 集的硅质白云岩样品&Ce 在0.90~0.94 之间,表明其 沉积环境接近大陆边缘,处于弱氧化环境,这也与岩 石弱红色的颜色特征相符合。Eu<sup>2+</sup>通常出现于岩浆 活动有关的下地壳强还原环境中,除火山或热液成因 外,Eu 正异常一般不会出现在开阔洋盆环境。非热 液沉积的岩石中很少有Eu 正异常。因此, dEu 是判 断热液沉积的一个很灵敏的标志。本次研究的所有白 云 岩样品都为明显的 Eu 的正异常,特别是底部的 ZK59-2-H45、ZK59-2-H46、ZK59-2-H47 三件硅质白 云岩还呈现出中部上凸的 REE 分布模式,这与已经 报道的现代大洋中脊喷口沉积物的 REE 分布模式相 似,表明这些样品在形成时受到一定程度的热液活动 影响。

#### 5 结论

(1)矿区的硅质白云岩中稀土元素与辉绿辉长岩的稀土元素具有同源性,总体呈渐变关系。表明白云 岩在形成时受岩浆侵入前的热液喷流作用,并且喷流 作用逐渐变强成为火山喷流作用。

(2) åCe、åEu的异常表明硅质白云岩沉积环境接 近大陆边缘,处于弱氧化环境,受到一定程度的热液 活动影响。

#### 参考文献:

- [1] 黄水平,吴健民,王滋平.东川铜矿田因民组热水沉积岩地质地 球化学[J].地质与勘探,1999,35(4),15-18.
- [2] 谢桂青,胡瑞忠,方维萱,等.云南墨江金矿热水喷流沉积成岩成 矿的地质地球化学证据[J]. 沉积学报,2002,20(3):387-393.
- [3] 何俊国,周永章,杨志军,等.藏南硅质岩地质地球化学特征及其 成矿效应[J].矿产与地质,2004,18(5):405-409.
- [4] 杨海生,周永章,杨志军,等.华南热水成因硅质岩建造的稀土元 素地球化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报,2003,22(1),61-64.
- [5] 祝新友,汪东波,卫治国,等.西成地区碳酸盐岩 REE 特征及厂 坝矿床白云岩成因[J].矿床地质,2005,24(6):613-620.
- [6] 李毅,苏夏征,陈大经,等.广西热水沉积矿床中硅质岩岩石学及 岩石化学特征[J].矿产与地质,2007,21(4),445-451.
- [7] 熊永柱,夏斌,林丽,等.热水沉积成矿研究现状与展望[J]. 矿 产与地质,2005,19(3):233-238.
- [8] 方维董,胡瑞忠,黄转莹,等.热水沉积成矿盆地的热状态及热演 化分析与研究思路一热水沉积成矿盆地分析与研究之四[J].西 北地质科学,2000,21(1),10-18.
- [9] 何毅特.东川铜矿成矿系列、矿床类型及成矿模式[J].云南地 质,1996,15(4):319-329.
- [10] 李志群,杨家申,林文达,等.东川式铜矿地球化学研究 [J].云 南地质,1994,13(1):23-32.

- [11] 王中刚,于学元,赵振华,等.稀土元素地球化学[M],科学出版 社,1989.
- [12] 方维董,杨社锋,刘正桃,等.蒙古查干苏布尔加大型斑岩型铜 钼矿床含矿蚀变岩常量、微量和稀土元素地球化学特征及意义 [J].中国稀土学报,2007,25(1):85-94.
- [13] 段焕春,周琳,徐洪波.河北洞子沟银多金属矿稀土元素特征及 成矿模式探讨[J].矿产与地质,2003,17(6):673-678.
- [14] 杨社锋,方维萱,胡瑞忠,等.老挝Boloven 高原玄武岩风化壳中 稀土元素富集与主量元素关系[J]. 中国稀土学报,2007,25 (4):461-469.
- [15] 邓达文,孔华,奚小双.青海锡铁山热水沉积型铅锌矿床的地球

化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报,2003,22(4):310-313.

- [16] 冯胜斌,邢矿,周洪瑞,等.北秦岭二郎坪群重晶石岩热水沉积 地球化学证据及其成矿意义[J].世界地质,2007,26(2):200-207.
- [17] 王卓卓,陈代钊,汪建国.广西南宁地区泥盆纪硅质岩稀土元素 地球化学特征及沉积背景[J].地质科学,2007,42(3):558-569.
- [18] 李振宏,杨永恒.白云岩成因研究现状及进展[J].油气地质与 采收率,2005,12(2):5-8.
- [19] 贾润幸,方维萱,赫英,等.个旧超大型锡多金属矿稀土元素地 球化学特征[J].中国稀土学报,2005,23(2):228-234.

# Geochemical characteristics of the REE in siliceous dolomite in the Dongchuan Cu deposit, Yunnan

PAN Han-jiang<sup>1,2</sup>, FANG Wei-xuan<sup>1,2</sup>, GUO Mao-hua<sup>2</sup>, YANG Xin-yu<sup>1,2</sup>

 (1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
2. Beijing Resources Exploration Technical Center of China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100012, China)

Abstract: The REE data of the drilling core samples from the Dongchuan Cu deposit have shown that  $\Sigma REE$  is gradually enriched from siliceous dolomite to diabase gabbro which has the highest  $\Sigma REE$  value. The REE distributing pattern is the same between dolomite and diabase gabbro, which indicates their REE come from the same sources. NAAS normalized REE pattern has shown positive Eu anomalies of siliceous dolomite ( $\delta Eu: 0.99 \sim 1.37$ ), while  $\delta Ce$  is in the range of  $0.90 \sim 0.94$ . The REE partition pattern is similar to the reported sediment of modern ocean middle-ridge spout, which shows that magmatic hydrotherm has influenced forming process of siliceous dolomite.

Key Words: Cu deposit, siliceous dolomite, REE, geochemical characteristics, Dongchuan, Yunnan