

文章编号: 1000-6524(2003)03-0259-06

云南大平掌铜多金属矿床稀土元素地球化学特征

李 峰

(昆明理工大学, 云南 昆明 650093)

摘 要: 滇西大平掌铜多金属矿床具典型的“双层结构”。对上部盆地相的块状硫化物和下部通道相的细脉浸染状硫化物的稀土元素分析表明,前者具正 Eu 异常的球粒陨石标准化配分模式,后者具负 Eu 异常的配分模式。这种变化与成矿流体演化有关。通过与大西洋中脊 TAG 热液活动区表层沉积硫化物 and 黑烟囱流体等的稀土元素配分模式对比,可以认为成矿是火山喷流沉积作用的结果。

关键词: 稀土元素; 大平掌铜多金属矿床; 云南

中图分类号: P588.14

文献标识码: A

Rare earth element geochemistry of the Dapingzhang Cu polymetallic deposit in western Yunnan

LI Feng

(Department of Geology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: There exist "two layer structure" orebodies in the Dapingzhang Cu polymetallic deposit. Massive sulfide samples from the upper ore bed and veinlet disseminated sulfide samples from the lower ore canal of the deposit were analyzed for REE contents by ICP-MS. The chondrite-normalized REE patterns of massive sulfide samples are all characterized by positive Eu anomaly, and those of veinlet disseminated sulfide samples by negative Eu anomaly. The variation of Eu anomaly in sulfides of different mineralized belts can serve as an indicator of the evolutionary character of ore-forming fluids. A comparison with the REE patterns of hydrothermal sediments and black smoker fluids from the TAG of the mid-Atlantic ridge suggests that metallogenesis of the deposit is related to volcanic exhalative sedimentation.

Key words: rare earth element; Dapingzhang copper polymetallic deposit; Yunnan

思茅大平掌大型铜多金属矿床的发现是继德钦羊拉大型铜多金属矿床发现之后,云南省地矿局在“三江”地区找铜的又一突破。关于其地质特征和成矿条件,笔者等近年做过一些阐述(李峰等, 2000, 2001)。本文进一步阐明其 REE 成因标志。

1 矿床地质特征

矿床位于思茅盆地西缘,形成于晚石炭世古特

提斯活动陆缘的岛弧环境。矿区主要出露晚石炭世龙洞河组和中三叠世下坡头组地层(图 1)。其中龙洞河组上段(C_3l^2)为一套海相钙碱性系列的细碧-石英角斑岩建造,含 3 个岩性段:下部(C_3l^{2-1})为浅肉红、浅灰色石英角斑岩、角斑岩夹绿灰色细碧岩、英安岩,顶层为浅绿灰色含放射虫硅质岩,厚大于 300 m;中部(C_3l^{2-2})为含矿层,主要为浅灰色、灰绿色角砾状流纹岩、流纹岩夹凝灰岩及黄铁绿泥石岩、

收稿日期: 2002-06-24; 修订日期: 2002-09-16

基金项目: 云南省自然科学基金资助项目(97D031M)

作者简介: 李 峰(1957-), 男, 教授, 主要从事地质资源与地质环境的教学与研究。

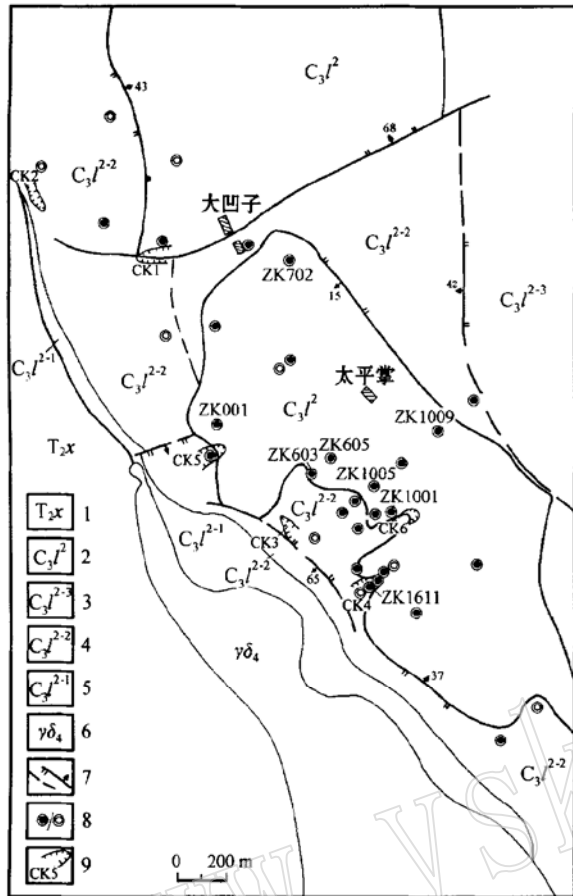


图1 大平掌铜多金属矿床地质简图
(据云南地质五大队资料简化)

Fig. 1 Generalized geological map of the Dapingzhang Cu-polymetallic deposit (simplified from materials of Yunnan No. 5 Geological Party)

1—下坡头组; 2—龙洞河组上段(未分); 3—龙洞河组上段上部;
4—龙洞河组上段中部; 5—龙洞河组上段下部; 6—花岗闪长斑
岩; 7—断层; 8—见矿及未见矿钻孔, 有编号者为稀土样采样孔,
具体深度见表1表2; 9—采场及其编号

1—Xiapotou Formation; 2—upper member of Longdonghe Forma-
tion; 3—upper part of the upper member of LF; 4—middle part of
the upper member of LF; 5—lower part of the upper member of LF;
6—granodiorite porphyry; 7—fault; 8—ore intersecting borehole/
barren borehole (the boreholes with serial number are REE sampling
ones); 9—mining area and its serial number

安山岩等, 顶层为浅灰色沉凝灰岩及硅质岩, 厚 330 m; 上部(C_3l^{2-3})为灰白色流纹岩夹细碧岩、角斑岩, 向上变为凝灰岩夹硅质岩, 厚大于 1 200 m。中三叠世下坡头组主要为灰紫、灰绿色岩屑砂岩、粉砂岩、泥岩与泥灰岩互层, 底部有砾岩。

区域性 NW 向酒房断裂控制了火山岩的分布, 是重要控岩控矿构造。矿区内 NW、NE 及近 EW 向断裂发育, 其中 C_3l^{2-2} 顶部出现一规模较大、产状平

缓、总体倾向 NE、具推覆特征的断裂, 多处可见切错且破坏矿体。矿体埋深一般大于 80 m, 基本上为隐伏矿体, 主体标高 1160 m 以上, 可分两类:

上部块状硫化物矿体(V1): 呈层状-透镜状分布于 C_3l^{2-2} 顶部沉凝灰岩和硅质岩之下或角砾状流纹岩之上, 中心区最厚, 向四周变薄。主要金属矿物为黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、砷黝铜矿等, 脉石矿物以石英为主, 次为方解石、绢云母和少量重晶石、绿泥石等。矿石除具微粒-细粒、乳浊状、包含结构外, 还发现典型的草莓结构和鲕粒结构。莓粒多由直径 0.005~0.008 mm 的黄铁矿组成。鲕粒状硫化物粒径一般在 0.05~0.07 mm, 个别达 0.1 mm, 鲕核有黄铁矿、石英和闪锌矿等, 同心层主要由黄铁矿和黄铜矿交替组成, 层数 2~7 层不等, 层厚 0.005~0.01 mm, 偶见复鲕, 并常见重结晶的残余状莓团和鲕群。矿石具块状、碎块状、角砾状、条带-条纹状构造。矿石平均品位 Cu 3.84%, Zn 7.02%, Pb 2.26%, 并含一定 Au, 是富锌的铜矿体。

下部细脉浸染状矿体(V2): 呈不规则状产于角砾状流纹岩中, 多与上部块状硫化物矿体连续过渡, 深部与被硫化物网脉穿插的隐爆角砾岩带相连。矿物组成较简单, 常见黄铁矿和黄铜矿, 闪锌矿及方铅矿极少, 脉石矿物以石英、长石、绢云母为主, 次为方解石、绿泥石。矿石多具中-粗晶结构、交代结构、包含结构和浸染状、细脉状、网脉状构造等。Cu 品位一般 0.55%~1.9%, Pb+Zn 多小于 0.5%。

与成矿有关的围岩有广泛的硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化等蚀变, 尤其在矿化中心地带和主要含矿层(C_3l^{2-2})中最强烈, 块状矿体之上的围岩中未见上述组合蚀变。

2 样品概况及分析方法

硫化物样品分两种: 地表采坑中的层状块状硫化物矿体(样号采 6_1、D16_2、D001_2), 属喷流成矿中心盆地相喷流沉积的典型代表; 钻孔深部细脉浸染状矿体(样号 ZK605_3、D2_2、D4_2、D6_4), 为喷流成矿管道相矿石的典型代表。前者主要由细粒-微粒闪锌矿、黄铁矿组成, 次为黄铜矿、方铅矿及石英、重晶石等; 后者主要由黄铁矿、黄铜矿及石英组成。样品经室内显微镜下挑选、分离。送测样品中, 采 6_1、D16_2 和 D001_2 为以闪锌矿为主+黄铁矿+黄铜矿+方铅矿的硫化物, ZK605_3 为纯黄铜矿, D2_2、

D4_2 和 D6_4 为黄铁矿+ 黄铜矿的硫化物(其中 D2_2、D4_2 含微量杂质)。此外,从钻孔岩芯中共采集具代表性的近矿火山岩样 5 件,做全岩 REE 分析。样

品由贵阳地球化学研究所用 ICP_MS 等离子体质谱仪进行稀土元素测定。分析结果见表 1 2。

表 1 大平掌铜矿硫化物 REE 含量
Table 1 REE contents of sulfides from the Dapingzhang copper deposit

$w_B/10^{-6}$

样品 样号	层(块)状硫化物 (Gn 为主+ Py+ Cp+ Gn)			细脉浸染状硫化物 (Py+ Cp)				大西洋中脊 TAG 热液 活动区块 状硫化物 ⁽¹⁾	BSF ($\times 10^{-9}$)	WSF ($\times 10^{-9}$)	SW ($\times 10^{-12}$)
	采 6-1 CK3 采场	D001-2 CK6 采场	D16-2 Zk1611 孔口	ZK605-3 孔 103m	D2-2 ZK1001 孔 83m	D4-2 ZK1005 孔 127m	D6-4 ZK605 孔 67m				
La	2.677	0.411	0.326	0.202	7.13	11.2	0.78	0.485	0.568	0.34	3.540
Ce	4.942	0.746	0.589	0.447	14.0	21.7	1.59	0.538	1.32	0.479	0.762
Pr	0.62	0.102	0.081	0.05	1.79	2.72	0.19	0.056	-	-	-
Nd	2.725	0.575	0.304	0.262	7.75	12.9	1.66	0.196	0.868	0.214	3.090
Sm	0.715	0.3	0.117	0.12	1.85	2.76	0.51	0.036	0.187	0.0358	0.621
Eu	0.384	0.23	0.058	0.01	0.45	0.64	0.14	0.021	0.542	1.32	0.161
Gd	0.695	0.381	0.127	0.061	1.55	2.20	0.51	0.039	0.17	0.0256	0.983
Tb	0.117	0.076	0.027	0.012	0.27	0.36	0.12	0.006	-	-	-
Dy	0.838	0.461	0.151	0.093	1.89	2.17	0.75	0.026	0.123	0.0179	1.030
Ho	0.134	0.124	0.036	0.018	0.51	0.52	0.22	0.005	-	-	-
Er	0.389	0.316	0.078	0.036	1.17	1.29	0.50	0.012	0.0493	0.00796	0.915
Tm	0.062	0.056	0.012	0.004	0.17	0.23	0.09	0.002	-	-	-
Yb	0.332	0.421	0.063	0.01	1.36	1.27	0.69	0.014	0.036	0.0067	0.938
Lu	0.035	0.044	0.01	0	0.15	0.13	0.11	0.004	0.0044	0.0008	0.154
Σ REE	14.665	4.243	1.98	1.325	40.04	60.09	7.86	1.442	3.8677	2.4478	12.194
LREE	12.063	2.364	1.48	1.091	32.97	51.92	4.87	1.332	3.485	2.3888	8.174
HREE	2.602	1.879	0.50	0.234	7.07	8.17	2.99	0.1082	0.3827	0.0590	4.02
LREE/HREE	4.64	1.26	2.96	4.66	4.66	6.35	1.63	12.31	9.11	40.49	2.033
(La/Sm) _N	2.36	0.86	1.75	1.06	2.42	2.55	0.96	8.45	1.88	6.11	3.59
(Gd/Yb) _N	1.69	0.73	1.63	4.92	0.92	1.40	0.60	4.25	3.88	3.33	0.84
(La/Yb) _N	5.44	0.66	3.48	13.62	3.52	5.94	0.76	23.4	10.58	36.67	2.54
δ Eu	1.67	2.08	1.45	0.36	0.81	0.79	0.84	1.71	9.29	134.32	0.63
δ Ce	0.92	0.88	0.87	1.07	0.94	0.95	0.99	0.77	1.00	1.51	0.12

注: (1) 据曾志刚等(1999)的 6 个数据平均;BSF—黑烟囱流体,WSF—白烟囱流体,SW—海水,引自 Mitra 等(1994)。

3 稀土元素特征

3.1 盆地相块状硫化物稀土元素特征

从表 1 和图 2a 可见, Σ REE 较低,从 1.98×10^{-6} 到 14.67×10^{-6} , 具明显的正 Eu 异常(δ Eu= 1.45~ 2.08) 和微弱的负 Ce 异常(δ Ce= 0.87~ 0.92); 轻、重稀土元素分馏不均一, (La/Yb)_N = 0.66~ 5.44, (La/Sm)_N = 0.86~ 2.36, (Gd/Yb)_N = 0.73~ 1.69, (La/Sm)_N > (Gd/Yb)_N, 总体反映 LREE 的分馏程度比 HREE 的分馏程度高; REE 配分曲线多为向右缓倾斜的 LREE 富集型(采 6_1、D16_2), 但不同样品的曲线形态有所变化, 较明显的

是 D001_2 呈现 HREE 富集型特征。

3.2 深部管道相细脉浸染状硫化物稀土元素特征

总量变化较大, Σ REE= 1.33×10^{-6} ~ 60.09×10^{-6} , 其中纯黄铜矿或硫化物样(ZK605_3、D6_4) 仅 1.33×10^{-6} ~ 7.86×10^{-6} , 与块状硫化物接近, D2_2 和 D4_2 样的 Σ REE 偏高, 可能与样品含杂质有一定关系; LREE/HREE= 1.63~ 6.35; 具明显-中等的负 Eu 异常(δ Eu= 0.36~ 0.84), 基本无 Ce 异常(δ Ce= 0.94~ 1.07); (La/Yb)_N 除 ZK605_3 较高(13.62) 外, 其余介于 0.76~ 5.95 之间, 而且(Gd/Yb)_N 多小于 (La/Sm)_N, 也反映一种 LREE 相对富集、分馏程度比 HREE 分馏程度要高的特征; 在 REE 配分模式图上, 总体向右缓倾斜, 但具不同程度的负 Eu 异常,

表2 大平掌铜矿火山岩 REE 含量

 $w_B/10^{-6}$

Table 2 REE contents of volcanic rocks from the Dapingzhang copper deposit

样号	ZK702_8 (孔深 241m 处)	ZK702_7 (孔深 167m 处)	ZK1009_10 (孔深 210.3m 处)	ZK605_6 (孔深 42m 处)	ZK1009_2 (孔深 77.3m 处)
样品	流纹质凝灰熔岩	角砾状流纹岩	爆破角砾岩	英安岩	英安岩
La	23.268	9.796	1.715	5.829	8.105
Ce	49.521	21.904	4.117	12.554	21.874
Pr	5.992	2.708	0.541	1.704	2.812
Nd	23.733	10.619	2.363	6.568	10.214
Sm	6.091	2.915	0.843	1.957	2.552
Eu	1.184	0.538	0.14	0.535	0.34
Gd	6.608	3.413	1.405	2.572	2.476
Tb	1.134	0.593	0.316	0.498	0.422
Dy	7.386	3.803	2.227	3.493	2.975
Ho	1.63	0.823	0.506	0.817	0.705
Er	4.999	2.597	1.563	2.739	2.309
Tm	0.783	0.379	0.229	0.44	0.356
Yb	5.118	2.784	1.637	3.185	2.835
Lu	0.774	0.457	0.251	0.497	0.463
ΣREE	138.221	63.329	17.853	43.388	58.438
LREE	109.789	48.48	9.719	29.147	45.897
HREE	28.432	14.849	8.134	14.241	12.541
(La/Sm) _N	2.403	2.114	1.280	1.874	1.998
(Gd/Yb) _N	1.042	0.000	0.693	0.652	0.705
(La/Yb) _N	3.065	2.372	0.706	1.234	1.927
δEu	0.571	0.522	0.393	0.729	0.414
δCe	1.009	1.024	1.029	0.959	1.103

而与块状硫化物有所区别(图 2b)。

3.3 近矿火山岩稀土元素特征

流纹质火山岩、中性火山岩各样品 ΣREE 值总体较高(仅爆破角砾岩略低)(表 2),一般 $> 43.4 \times 10^{-6}$,高者达 138.22×10^{-6} ;具强烈负 Eu 异常特征($\delta Eu = 0.393 \sim 0.729$);(La/Yb)_N、(La/Sm)_N 和 (Gd/Yb)_N 值的范围与硫化物相近,REE 配分模式也多属轻稀土富集型,曲线缓右倾(图 2c),且轻稀土元素之间的分馏程度相对较高,基本无 Ce 异常或呈微弱正异常。因此,火山岩类的 REE 配分模式与细脉浸染状硫化物、块状硫化物既有差异,又有相似性,而且,由火山岩→细脉浸染状硫化物→块状硫化物,稀土元素配分模式出现由强烈负 Eu 异常→中-弱负 Eu 异常→正 Eu 异常的演变趋势。

4 REE 模式的矿床成因讨论

综上所述,在成矿过程中,矿区火山岩、深部管道相细脉浸染状硫化物及上部盆地相块状硫化物的 REE 组成虽受到热液活动的影响,但轻、重稀土元素

未发生明显分馏,由含矿火山岩→深部脉状硫化物→上部块状硫化物,稀土元素组成总体显示由高→低;δEu 由负异常→正异常。对其原因及矿床成因作如下探讨:

(1) 含矿火山岩与脉状硫化物 REE 的相似性反映二者在物源上的联系。有研究证明(Douville *et al.*, 1999),火山岩中的斜长石在高温蚀变作用过程中,通过离子交换可使热液流体具有明显的负 Eu 异常。这种初始相对亏损 Eu 的含矿流体,早阶段在深部通过充填交代方式所形成的硫化物应继承 ΣREE 低和亏损 Eu 的稀土元素配分模式。

(2) 将矿区块状硫化物的球粒陨石标准化稀土元素配分模式与慢速扩张的大西洋中脊 TAG 热液活动区表层块状硫化物和多米尼亚火山弧地热水的 REE 组成及其配分模式对比(表 1、图 3)可以发现,二者除 ΣREE、δEu、δCe 和配分曲线很相似外,也具有 (La/Sm)_N > (Gd/Yb)_N 的特点,不同点仅在于 TAG 热液活动区表层块状硫化物稀土元素的 (La/Yb)_N、(Gd/Yb)_N 及 (La/Sm)_N 普遍较大,稀土元素之间的分馏程度相对较高。再与海水、TAG 的平均黑烟囱

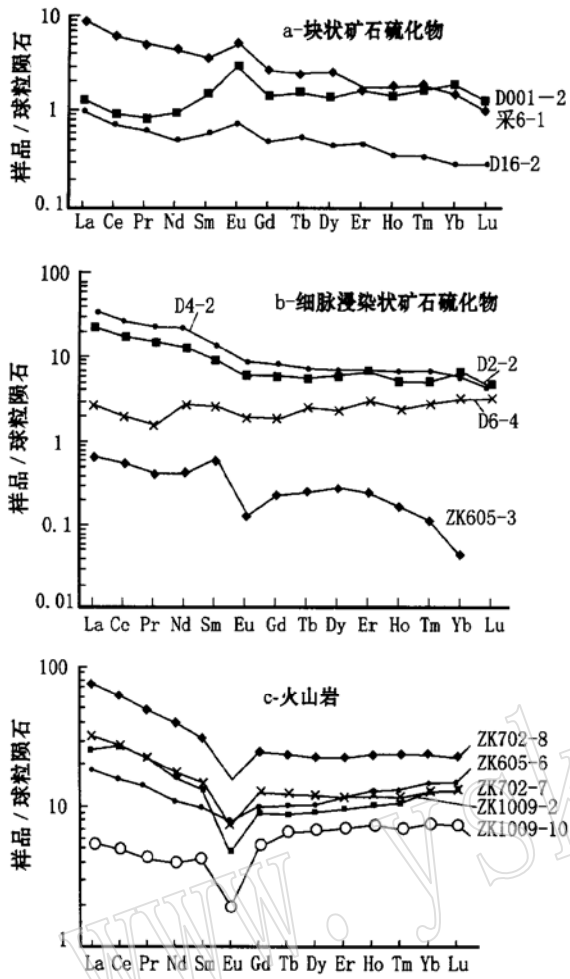


图2 矿石(硫化物)和火山岩REE配分模式

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns of ores and volcanic rocks

流体(BSF)和平均白烟囱流体(WSF)对比, 尽管它们的REE总量可相差3到4个数量级, 但在LREE/HREE及 δEu 、 $(La/Yb)_N$ 、 $(Gd/Yb)_N$ 、 $(La/Sm)_N$ 等方面, 矿区硫化物与黑烟囱流体有明显的相似性。看来, 无论是现代海底热液成矿系统, 还是地质时期的海相火山喷流成矿系统, 上部盆地相块状硫化物富Eu可能是常见的地球化学标志。

(3) 上部块状硫化物相对深部脉状硫化物富Eu, 原因可能有两个: 一是块状硫化物形成时, 出现对Eu有特殊亲和性的矿物相沉淀; 二是喷溢到海底后的成矿热液, 由于物化环境改变, 使溶液有利于Eu优先进入沉淀矿物相(Klinkhammer, 1994)。由于矿区矿石的矿物组合简单, 尚未发现特别富Eu并与硫化物紧密共生的矿物, 由此认为, 溶液性质变化是引起块状硫化物出现正Eu异常的主要因素。据

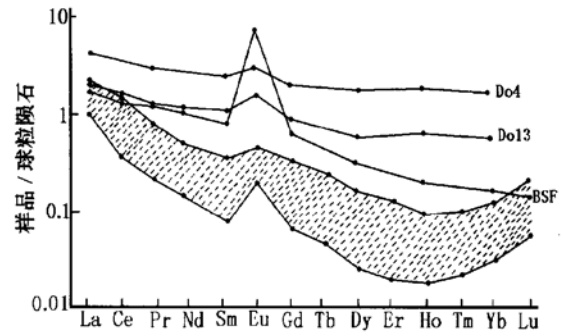


图3 典型热液流体及其沉积物REE型式

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of some hydrothermal fluids and hydrothermal sedimentary sulfides
Do—多米尼加火山弧热水(据 Michard, 1989); BSF—大西洋TAG黑烟囱流体(据 Mitra, 1994); 阴影部分为大西洋TAG热液沉积硫化物(据曾志刚1999年的6个样品资料综合)
Do—Dominican hydrothermal fluids from volcanic arc (after Michard, 1989); BSF—black smoker fluid from the TAG hydrothermal field, mid-Atlantic ridge (after Mitra, 1994); shadow area is the region for the surface sedimentary sulfides from the TAG hydrothermal field, mid-Atlantic ridge (data after Zeng Zhigang, 1999)

王中刚等(1989)研究, 在还原条件下, Eu以 Eu^{2+} 形式存在, 与其他稀土元素发生分馏; 在氧化条件下, Eu以 Eu^{3+} 形式存在, 不发生分馏。大平掌矿床由管道相细脉浸染状矿石到盆地相层状块状矿石, Eu由负异常变为正异常, 表明成矿环境从相对还原向相对氧化条件变化。处于管道还原环境中的早阶段成矿流体, Eu以 Eu^{2+} 形式进入围岩, 造成成矿流体Eu负异常, 使主成矿期的硫化物低Eu。当成矿流体到达喷口处与较多氧化型海水混合时(中元古代以后的海水属氧化型海水), Eu^{2+} 被氧化成 Eu^{3+} , 导致喷口附近的成矿流体和盆地相硫化物相对富Eu, 形成正Eu异常。如果流体与大量海水均匀混合, 则应表现出海水的Eu负异常特征。钟宏(1998)对大平掌矿床成矿晚期的白云石和矿体上部硅质岩的REE组成研究, 就得出Eu负异常特征。

近年来, 稀土元素在低温流体中有分馏的现象也已被愈来愈多的资料证实。如: 在250℃以上高温高压条件下, Eu主要以二价形式存在, 其他稀土元素均以三价状态存在, 在相对低温条件下, Eu以二价和三价两种形式共存(Michard, 1989; 涂光焱等, 1998); 火山-喷流系统中, 岩浆气液与下渗海水混合后, 首先形成 $pH < 4$ 的强酸性热液, 强酸性热液对围岩金属矿物和造岩矿物的溶解就生成了含金属和含卤水成分的含矿热液(陈福, 1997)。成矿早期阶段, 热液流体呈酸性, 不利于稀土元素进入固体矿物

相。当酸性含矿流体被构造压力驱动带到开放或半开放的空间后, pH 值 > 6.4 时, 流体向中性、碱性演化, 稀土元素容易产生共沉淀作用, 进入固体矿物相。矿区成矿流体研究证明(李峰等, 2000), 喷口处块状硫化物的成矿流体温度在 262 °C 左右, pH 在 6 左右。在这种高温、中-弱酸性介质中, 与其他稀土元素相比, Eu 可能更易优先进入固体矿物相, 导致喷口附近的块状硫化物富 Eu。热液流体的 pH 值、温度和氧化还原条件对流体中 Eu 的分馏可起重要作用, 这可能是成矿系统上部的层(块)状硫化物和深部细脉浸染状硫化物在稀土组成出现一定差异的重要原因。当然, Eu 在喷流成矿系统中的地球化学行为尚有许多待深入研究的问题。

5 结论

综上所述, 可得出以下结论:

(1) 矿区盆地相块状硫化物稀土元素特征与大西洋中脊 TAG 热液活动区表层块状硫化物、典型地热流体和研究区古生代喷流沉积矿床相似。ΣREE 较低、稀土元素配分曲线呈缓右倾、正 Eu 异常的模式可作为喷流沉积矿床的地球化学标志之一。

(2) 由含矿火山岩→管道相脉状硫化物→盆地相块状硫化物, REE 的变化与含矿热液的循环演化过程及其稀土元素分馏作用有关, 其配分模式既体现出继承性, 又有明显区别, 在一定程度上可以反映成矿热液系统的演化过程。

(3) 从 REE 特征分析, 并结合宏观地质条件及矿石结构构造特征, 可以认为, 大平掌矿床形成于类似于黑烟囱式海底火山期后喷流成矿热液系统, 属典型的海底火山喷流-沉积成因, 成矿物质主要来源于下伏火山岩及更老的地层。

应该说明的是, 本研究的矿石样品为硫化物混合样, 个别含微量杂质, 对分析结果可能有一定影响, 以上认识可随研究的深入不断完善。

野外工作中得到云南省地矿局丁俊总工程师、张子雄工程师等的全力支持与帮助, 谨此致谢。

References

Chen Fu, Wang Zhonggang, Zhu Xiaoqing. 1997. Formation of acidic solution in nature and mechanism of their evolution toward ore-forming solution[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(4): 399~411

(in Chinese with English abstract).

Douville E, Bienvenu P, Charlou J L. 1999. Yttrium and rare earth elements in fluids from various deep-sea hydrothermal systems[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(5): 627~643.

Klinkhammer G P, Elderfield H, Edmond J M, et al. 1994. Geochemical implications of rare earth elements patterns in hydrothermal fluids from mid-ocean ridges[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58: 5105~5113.

Li Feng, Zhuang Fengliang. 2000. Fluid inclusion characteristics of Dapingzhang Cu-polymetal deposit in western Yunnan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4): 581~586 (in Chinese with English abstract).

Li Feng, Zhang Fuliang. 2001. Volcanic-exhalative sedimentary genesis of Dapingzhang Cu-polymetal deposit in western Yunnan[J]. *Geology and Prospecting*, 37(4): 5~8 (in Chinese).

Michard A. 1989. Rare earth element systematic in hydrothermal fluids[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53: 745~750.

Mitra A, Elderfield H, Greaves M J. 1994. Rare earth elements in submarine hydrothermal fluids and plumes from the Mid-Atlantic Ridge[J]. *Marine Chemistry*, 47: 217~236.

Tu Guangzhi. 1998. *Lower Temperature Geochemistry*[M]. Beijing: Science Press, 100~300 (in Chinese).

Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenghua et al. 1989. *Rare Earth Element Geochemistry*[M]. Beijing: Science Press, 290~300 (in Chinese).

Zeng Zhigang, Zhai Shikui, Zhao Yiyang, et al. 1999. Rare earth element geochemistry of hydrothermal sediment from the TAG hydrothermal field, Mid-Atlantic ridge[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 19(3): 59~66 (in Chinese).

Zhong Hong. 1998. *The studies of volcanic rocks and ore-forming mechanism of copper-polymetallic deposit in Dapingzhang ore district, Yunnan Province*[D]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

陈福, 王中刚, 朱笑青. 1997. 自然界酸性溶液的形成和向成矿溶液演化机理[J]. *矿物学报*, 17(4): 399~411.

李峰, 庄凤良. 2000. 滇西大平掌铜多金属矿床流体包裹体特征[M]. *岩石学报*, 16(4): 581~586.

李峰, 张富良. 2001. 滇西大平掌铜多金属矿床火山喷流沉积成因[J]. *地质与勘探*, 37(4): 5~8.

涂光炽. 1998. *低温地球化学*[M]. 北京: 科学出版社, 100~300.

王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 1989. *稀土元素地球化学*[M]. 北京: 科学出版社, 290~300.

曾志刚, 翟世奎, 赵一阳, 等. 1999. 大西洋中脊 TAG 热液活动区中热液沉积物的稀土元素地球化学特征[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 19(3): 59~66.

钟宏. 1998. 云南大平掌矿区火山岩及铜多金属矿床成矿机制研究[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所.