

# 个旧超大型锡多金属矿稀土元素地球化学特征\*

贾润幸<sup>1,2</sup>, 方维萱<sup>2\*</sup>, 赫英<sup>1</sup>, 高振敏<sup>2</sup>, 李红阳<sup>2</sup>

(1. 西北大学大陆动力学教育部重点实验室, 西北大学地质系, 陕西西安 710069; 2. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室, 贵州贵阳 550002)

摘要: 对比研究了个旧不同类型岩(矿)石(蚀变花岗岩、钙质泥岩、大理岩、矽卡岩矿石、层状矿石和脉状矿石)的稀土元素、微量元素地球化学特征, 借以追踪不同类型矿床的成矿物质来源。研究表明不同类型矿石中的稀土元素配分曲线较为相似, 成矿物质具有同源性, 并与本区的花岗岩具有一定的成因联系。由于其成矿方式的不同, 不同类型矿石中的稀土元素特征和矿物组合特征略有差异, 脉状矿石和层状矿石中稀土含量相对较少且富集轻稀土, 而矽卡岩矿石中稀土含量相对较多且轻、重稀土的含量变化较大。

关键词: 稀土元素地球化学; 锡多金属矿成因; 稀土

中图分类号: P61 文献标识码: A 文章编号: 1000-4343(2005)02-0228-07

个旧超大型锡多金属矿是我国重要的锡矿产地, 按照矿体形态可划分为接触带矽卡岩矿体、脉状矿体和层间矿体, 前人对其已进行了许多研究<sup>[1-10]</sup>, 但对于本区矿床的成因问题仍存在分歧: 多数人<sup>[1, 2, 4, 6]</sup>持“岩浆热液成矿观点; 也有人<sup>[3, 7]</sup>认为与海底喷流(喷气)沉积有关, 或认为有原始“矿源层”的存在<sup>[5]</sup>, 花岗岩浆的侵入作用只是起到了某种改造作用。

稀土元素的地球化学行为十分相近, 对于判别物质的来源具有重要的指示意义, 已广泛应用于金属矿产资源方面的研究<sup>[11-21]</sup>, 同时对于研究土壤<sup>[22-23]</sup>、地表水<sup>[24-25]</sup>、海水<sup>[26]</sup>甚至气候、环境的变化<sup>[27]</sup>也有很大帮助。本文着重从稀土元素、微量元素、矿物组构等方面, 对个旧不同类型的岩(矿)石进行了研究, 探讨了个旧锡多金属矿的成因问题, 为老矿山的进一步找矿提供理论依据。

## 1 地质概况

个旧锡多金属矿区位于滇东南地区南部, 由5个矿田组成, 从北至南依次为马拉格、松树脚、高松、老厂和卡房矿田。滇东南地区沉积岩广泛发育, 约占区内面积的80%以上。地层除白垩系缺失外, 前寒武系到第四系均有出露。早三迭世以前的

地层以海相沉积为主, 早三迭世以后主要为陆相沉积。区域的深大断裂主要有南北向的小江断裂; 北西向的红河断裂、哀牢山断裂、屏建石断裂; 北东向的师宗-弥勒断裂、南盘江断裂。岩浆岩分布在个旧南部的哀牢山地区、西部的石屏、建水和东部的文山、马关一带, 占本区面积的10%左右, 以酸性-基性的喷出岩和酸性侵入岩为主。本区岩浆活动具有多期次、多阶段性, 从元古代到新生代的各主要构造活动时期, 均有强度不等、类型不同的岩浆活动。以华力西期的海底基性火山喷发活动和印支、燕山期的基性(超基性岩)、酸性岩浆活动最为强烈<sup>[6, 9]</sup>。

## 2 样品采集与分析

为了研究个旧矿床的地球化学特征, 分别在塘子凹矿区、芦塘坝矿区和老厂矿区对不同类型的岩(矿)石(蚀变花岗岩、大理岩、钙质泥岩、矽卡岩矿石、层状矿石和脉状矿石)进行地球化学采样, 样重一般500g, 室内切制电子探针片及光、薄片后, 再进行样品加工。样品加工前先切掉氧化或蚀变膜, 选择新鲜的岩块作为测试对象, 样品经过洗涤、烘干后先破碎再加工到200目, 每个样重约100g。样品均采用等离子质谱分析方法(ICP-

\* 收稿日期: 2004-05-09; 修订日期: 2004-07-20

基金项目: 云南省院省校合作项目(2000YK-05); 国家重大基础研究规划项目(2001CB409805); 国家“十五”科技攻关项目(2004BA615A-03); 中国科学院矿床地球化学研究所资助项目

作者简介: 贾润幸(1969-), 男, 陕西长安人, 博士研究生, 工程师; 研究方向: 岩石、矿物、矿床学和地球化学

\* 通讯联系人 (E-mail: fangwuxuan@163.net)

表 1 个旧岩(矿)石稀土及微量元素含量 ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )<sup>\*</sup>

矿床 岩性 样品	塘子凹										芦塘坝		老厂	
	塘质泥岩		大理岩		蚀变花岗岩			砂卡岩矿石			层状矿石		脉状矿石	
	MA52	MA53	MA54	MA55	MA30-1	MA22	MA23	MA28	MA30-5	MA30-6	MA-6	MA-6B	GR-55	GR-56
La	21.5	33.3	3.58	2.52	7.43	10.9	9.69	6.51	96.4	226	0.135	0.483	2.96	0.667
Ce	43.0	70.1	6.66	4.73	18.1	24.8	23.1	12.7	178	408	0.332	1.19	9.57	1.76
Pr	5.12	7.04	0.879	0.535	2.41	3.32	3.44	1.85	18.6	43.9	0.038	0.142	0.804	0.180
Nd	18.3	26.0	3.23	1.96	12.4	13.8	15.7	10.4	60.0	140	0.149	0.657	2.64	0.656
Sm	3.68	4.95	0.768	0.302	5.08	6.85	7.46	4.72	9.26	18.6	0.091	0.330	1.02	0.360
Eu	0.714	0.854	0.168	0.106	0.152	0.214	0.089	0.432	0.586	0.780	0.004	0.010	0.050	0.028
Gd	3.19	3.04	0.734	0.364	5.69	7.75	8.91	4.757	5.54	8.93	0.048	0.258	0.449	0.213
Tb	0.560	0.536	0.111	0.048	1.33	1.81	2.10	0.989	0.754	1.08	0.005	0.037	0.108	0.074
Dy	3.54	3.12	0.694	0.320	9.06	11.3	15.3	6.21	3.95	4.87	0.042	0.235	0.414	0.268
Ho	0.743	0.778	0.161	0.039	2.03	2.51	3.05	1.24	0.755	0.917	0.006	0.044	0.086	0.031
Er	2.17	2.28	0.395	0.173	6.45	7.90	9.92	3.88	2.02	2.72	0.004	0.058	0.279	0.129
Tm	0.340	0.416	0.069	0.017	1.10	1.38	1.70	0.721	0.369	0.410	0.005	0.015	0.071	0.032
Yb	2.25	2.70	0.468	0.174	7.31	9.35	12.7	5.68	2.36	2.86	0.026	0.073	0.478	0.221
Lu	0.318	0.378	0.062	0.022	1.01	1.28	1.59	0.899	0.397	0.433	0.003	0.017	0.068	0.035
Y	15.8	17.7	4.95	1.68	59.5	86.4	98.5	43.1	20.5	24.0	0.193	2.34	1.71	0.720
$\Sigma\text{REE}$	121	173	22.9	13.0	139	190	213	104	399	883	1.08	5.89	20.7	5.37
$\Sigma\text{Ce}$	92.4	142	15.3	10.1	45.6	59.8	59.5	36.6	362	837	0.749	2.82	17.0	3.65
$\Sigma\text{Y}$	28.9	30.9	7.64	2.83	93.5	130	154	67.4	36.6	46.2	0.332	3.08	3.66	1.72
$\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$	3.19	4.60	2.00	3.58	0.487	0.461	0.387	0.543	9.90	18.1	2.26	0.915	4.66	2.12
$\hat{Q}_{\text{Ce}}$	0.985	1.10	0.903	0.981	1.03	0.992	0.964	0.883	1.01	0.987	0.939	1.10	1.50	1.22
$\hat{Q}_{\text{Eu}}$	0.637	0.673	0.684	0.978	0.086	0.090	0.033	0.279	0.250	0.185	0.493	0.109	0.226	0.306
$N_{\text{La}/\text{Yb}}$	6.46	8.34	5.16	9.75	0.685	0.785	0.514	0.773	27.5	53.2	3.86	4.46	4.17	2.04
$N_{\text{La}/\text{Sm}}$	3.69	4.24	2.94	5.24	0.919	1.00	0.817	0.869	6.55	7.63	1.50	0.921	1.83	1.17
$N_{\text{Gd}/\text{Yb}}$	1.14	0.911	1.27	1.69	0.628	0.669	0.565	0.676	1.89	2.52	1.45	2.85	0.758	0.778
Li	38.0	52.3	5.19	6.61	32.7	57.4	56.4	322	633	689	6.38	0.88	77.2	145
B	8201	8657	7322	7129	8226	9485	5894	6597	15744	6836	145	143	1203	1631
V	49.5	70.8	9.45	12.5	2.41	6.12	4.47	20.4	91.0	111	—	1.46	10.1	6.35
Cr	58.5	74.6	4.88	2.08	7.93	6.94	3.00	1.88	81.9	114	0.145	3.76	6.17	15.8
Co	13.8	8.77	6.09	4.94	3.65	2.02	1.99	14.2	5.01	7.27	1.27	1.97	2.82	2.61
Ni	27.5	42.1	13.7	12.4	2.38	3.55	4.83	20.4	18.5	21.9	0.373	5.08	12.7	4.65
Cu	68.1	122	17.0	13.1	182	980	181	18218	560	1201	1156	1616	2132	371
Zn	591	384	145	22.5	16.2	65.0	34.8	360	142	134	88588	1500	10907	1180
Ga	10.1	17.4	0.601	0.771	18.5	24.0	22.3	85.5	88.6	91.0	19.9	2.60	28.6	51.6
Ge	1.68	2.57	0.373	0.691	3.60	3.58	2.92	9.76	19.5	15.8	0.586	1.02	21.9	6.16
As	70.6	117	10.5	9.82	3441	65.4	388	14.4	9.24	11.5	1144	14335	728	93.5
Rb	88.3	174	3.70	4.99	773	907	876	2049	2519	2360	1.98	1.24	130	36.3
Sr	176	164	1022	1255	129	132	106	14.3	42.9	51.7	1.14	4.66	1577	1518
Zr	196	2080	20.1	9.31	55.3	64.0	60.9	11.3	88.5	104	0.760	1.20	1.82	0.607
Nb	13.6	18.0	2.17	1.27	46.1	33.5	43.2	8.10	23.1	22.1	0.154	0.217	0.586	0.483
Mo	0.767	0.865	0.505	0.480	1.18	2.46	32.8	0.715	5.41	1.51	1.79	5.34	0.224	1.36
Ag	0.534	4.25	—	0.029	0.504	2.11	0.769	26.1	0.818	1.23	284	94.8	4.97	2.56
Cd	0.189	0.139	0.236	0.089	0.527	1.18	0.965	11.5	7.30	9.19	539	6.75	70.0	13.8
In	0.056	0.079	0.021	0.021	0.207	1.66	0.414	13.9	1.26	1.38	82.9	0.634	13.8	2.04
Sn	3.98	4.86	1.32	0.697	14.1	36.7	38.8	195	264	349	11.4	14.8	563	388
Sb	11.5	18.3	4.52	0.697	1.52	3.26	5.19	1.28	2.52	4.28	68.9	21.1	5.81	0.942
Cs	21.4	48.8	1.08	1.53	20.6	49.7	51.6	419	508	364	0.339	0.139	16.7	9.17
Ba	105	169	8.14	5.51	140	56.3	33.7	345	17.0	9.70	0.786	1.60	29.9	3.48
Hf	6.89	7.07	0.635	0.208	3.95	5.53	5.11	0.441	2.75	3.38	0.019	0.093	0.093	0.008
Ta	0.926	1.34	0.080	0.119	11.7	9.82	11.6	0.352	2.01	1.76	0.002	0.010	0.035	0.020
W	26.5	31.9	38.8	3.31	54.3	22.4	16.0	479	104	101	1.09	11.8	117	18.9
Tl	1.05	2.17	0.090	0.088	3.86	4.85	5.10	12.2	15.5	11.9	13.1	0.641	1.39	0.281
Pb	81.4	100	24.2	0.852	31.1	60.2	88.3	0.526	7.44	18.5	59957	1832	208	40.0
Bi	4.08	3.35	2.13	0.186	2.18	29.7	11.9	12.4	2.54	2.67	400	191	54.8	28.2
Th	10.1	14.6	0.791	0.244	20.7	15.3	17.9	1.72	8.11	11.9	0.058	0.080	1.09	0.442
U	2.72	3.62	0.965	1.15	17.4	11.5	29.2	6.30	4.00	5.90	1.27	2.45	3.66	0.349
TiO <sub>2</sub> /%	0.677	0.911	0.092	0.080	0.042	0.056	0.045	0.101	0.882	1.13	0.004	0.006	0.013	0.008
MnO/%	0.048	0.017	0.015	0.010	0.077	0.071	0.076	0.123	0.259	0.233	0.052	0.033	3.21	0.419

\* 测试单位: 中国科学院矿床地球化学研究所; 测试者: 漆亮

MS)<sup>[28]</sup>。样品分析结果见表1,并分别对其作稀土配分曲线(图1)和蛛网图(图2);图1和图2分别采用球粒陨石<sup>[29]</sup>和原始地幔<sup>[30]</sup>为标准。

### 3 岩(矿)石地球化学特征

#### 3.1 岩(矿)石稀土元素地球化学特征

(1) 蚀变花岗岩: 花岗岩样品分别采于塘子凹矿区的1815中段(MA22和MA23)和1830中段(MA30-1), 样品中稀土总量为139~213  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 具富集重稀土分布模式( $\sum\text{Ce}/\sum\text{Y}=0.387\sim0.487$ ,  $N_{\text{La}/\text{Yb}}=0.514\sim0.785$ ), 轻稀土和重稀土分馏程度差异不明显,  $N_{\text{La}/\text{Sm}}:N_{\text{Gd}/\text{Yb}}=(0.817\sim1.000):(0.565\sim0.669)$ 。铈异常不明显( $\delta_{\text{Ce}}=0.964\sim1.03$ ), 钕具明显的负异常( $\delta_{\text{Nd}}=0.033\sim0.090$ )。

(2) 围岩(钙质泥岩和大理岩): 钙质泥岩和大理岩样品采于塘子凹矿区的1950中段。钙质泥岩的稀土总量121~173  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 具富集轻稀土分布模式( $\sum\text{Ce}/\sum\text{Y}=3.19\sim4.60$ ,  $N_{\text{La}/\text{Yb}}=6.46\sim8.34$ )。轻稀土比重稀土分馏程度略明显一些,  $N_{\text{La}/\text{Sm}}:N_{\text{Gd}/\text{Yb}}=(3.69\sim4.24):(0.911\sim1.14)$ 。铈异常不明显( $\delta_{\text{Ce}}=0.985\sim1.10$ ), 钕具弱的负异常( $\delta_{\text{Nd}}=0.637\sim0.673$ )。大理岩的稀土总量13~22.9  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 略具富集轻稀土分布模式( $\sum\text{Ce}/\sum\text{Y}=2.00\sim3.58$ ,  $N_{\text{La}/\text{Yb}}=5.16\sim9.75$ )。轻重稀土分馏程度差异不明显,  $N_{\text{La}/\text{Sm}}:N_{\text{Gd}/\text{Yb}}=(2.94\sim5.24):(1.27\sim1.69)$ 。铈异常不明显( $\delta_{\text{Ce}}=0.903\sim0.981$ ), 钕具弱的负异常( $\delta_{\text{Nd}}=0.684\sim0.978$ )。

(3) 矽卡岩矿石: 接触带矿石主要采于塘子凹矿区的1815中段(MA28)和1830中段(MA30-5和MA30-5), 样品中稀土总量变化范围较大(104~

883  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), 铈异常不明显( $\delta_{\text{Ce}}=0.883\sim1.01$ ), 钕具明显的负异常( $\delta_{\text{Nd}}=0.185\sim0.279$ )。其中铜锡矿石(MA30-5, MA30-6)具明显富集轻稀土分布模式( $\sum\text{Ce}/\sum\text{Y}=9.90\sim18.1$ ,  $N_{\text{La}/\text{Yb}}=27.5\sim53.2$ ), 轻稀土比重稀土分馏程度略明显一些,  $N_{\text{La}/\text{Sm}}:N_{\text{Gd}/\text{Yb}}=(6.55\sim7.63):(1.89\sim2.52)$ ; 铜矿石(MA28)相对富集重稀土( $\sum\text{Ce}/\sum\text{Y}=0.543$ ,  $N_{\text{La}/\text{Yb}}=0.773$ ), 轻稀土和重稀土分馏程度差异不明显, ( $N_{\text{La}/\text{Sm}}:N_{\text{Gd}/\text{Yb}}=0.869:0.676$ )。

(4) 脉状矿石: 脉状矿石采于老厂401露天采场, 样品中稀土总量5.37~20.7  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 略具富集轻稀土分布模式( $\sum\text{Ce}/\sum\text{Y}=2.12\sim4.66$ ,  $N_{\text{La}/\text{Yb}}=2.04\sim4.17$ ), 轻重稀土分馏程度差异不明显,  $N_{\text{La}/\text{Sm}}:N_{\text{Gd}/\text{Yb}}=(1.17\sim1.83):(0.758\sim0.778)$ 。钕具弱的正异常( $\delta_{\text{Ce}}=1.22\sim1.50$ ), 钕具明显的负异常( $\delta_{\text{Nd}}=0.226\sim0.306$ )。

(5) 层状矿石: 层状矿石采于芦塘坝1720中段的10-14矿体, 样品中稀土总量1.08~5.89  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 略具富集轻稀土分布模式( $\sum\text{Ce}/\sum\text{Y}=0.915\sim2.26$ ,  $N_{\text{La}/\text{Yb}}=3.86\sim4.46$ ), 轻重稀土分馏程度差异不明显,  $N_{\text{La}/\text{Sm}}:N_{\text{Gd}/\text{Yb}}=(0.921\sim1.50):(1.45\sim2.85)$ 。铈异常不明显( $\delta_{\text{Ce}}=0.939\sim1.10$ ), 钕具明显的负异常( $\delta_{\text{Nd}}=0.109\sim0.493$ )。

#### 3.2 岩(矿)石微量元素地球化学特征

(1) 岩石: 蚀变花岗岩同本区的主要围岩(大理岩)相比, 大理岩中的Sr, V, Co, Ni, Zn的平均含量较高, 除此外, 蚀变花岗岩中的微量元素(特别是Cu, Pb, Zn, W, Sn, As, B和大离子亲石元素Rb, Cs, Ba等)的平均含量总体上要高于大理岩中相应微量元素的平均含量。

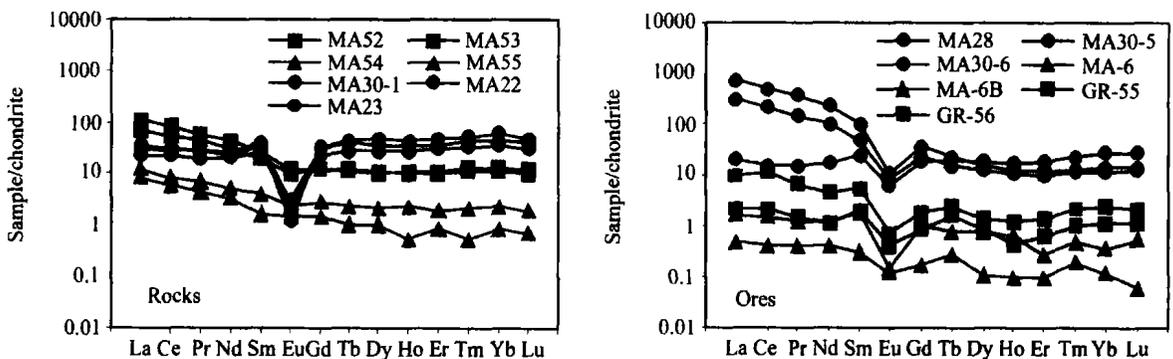


图1 个旧锡矿不同岩(矿)石稀土元素配分曲线

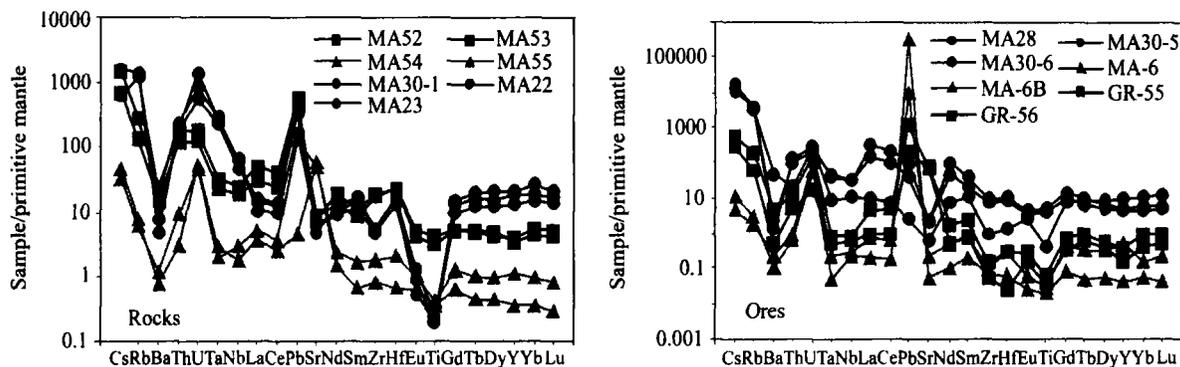


图 2 个旧锡矿不同岩(a)、矿(b)石微量元素蛛网图

(2) 矿石: 3 类不同类型的矿石中层状矿石的 Pb, Zn, As 的平均含量最高 ( $[Pb] = 30894 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ;  $[Zn] = 45044 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ;  $[As] = 7739 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ), 脉状矿石中的 Sr, Sn, MnO 平均含量最高 ( $[Sr] = 1547 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ;  $[Sn] = 476 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ;  $[MnO] = 1.8\%$ ), 除以上元素外, 从接触带矿石到脉状矿石和层状矿石, 总体上, 其余微量元素 (特别是 Cu, W, B, Ti 和大离子亲石元素 Rb, Cs, Ba 等) 的平均含量具有依次递减的趋势。

## 4 讨论

### 4.1 物质来源

层间矿体与接触带原生硫化矿相比, 两者金属硫化物矿物组合基本相同, 主要为磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿等, 但层间矿体中的方铅矿和闪锌矿的含量相对略高一些, 在芦塘坝矿床的 1660 中段的 10-13 矿体中可见到胶状黄铁矿产于磁黄铁矿形成的气孔中(图 3(a)); 脉石矿物组合上两者也较为相似, 层间矿体中的脉石矿物主要为萤石、高温  $\beta$ -石英(六方双锥状, 部分受到了后期溶蚀)和透闪石等(图 3(b)), 矽卡岩矿石中除矽卡岩矿物和  $\beta$ -石英(六方双锥状)外, 也可见到两期萤石(图 3(c), (d)). 此外, 矽卡岩矿石的  $\beta$ -石英中还可见到大量的细小电气石包体(图 3(e)), 这与脉状矿石中含有大量的电气石(图 3(f))相一致。

个旧矿床包裹体的研究资料显示, 层间矿体中锡石包裹体的爆裂温度为  $275 \sim 375 \text{ }^\circ\text{C}$ , 接触带原生硫化矿中锡石包裹体的爆裂温度为  $275 \sim 355 \text{ }^\circ\text{C}$ <sup>[9]</sup>, 两者成矿温度相近, 都属于高温范畴, 且前者比后者的成矿温度略高一些。运用稀土元素进

行物质来源示踪<sup>[14~21]</sup>, 层间矿石、矽卡岩矿石和脉状矿石的稀土配分曲线较为相似, 都具有明显的  $\delta_{Eu}$  负异常, 轻、重稀土的分馏程度差异不明显。在  $\sum La-Nd - \sum Er-Lu - \sum Sm-Ho$  三角图中(图 4), 三者也都落在了近于相同的区域内, 表明稀土在矿石中分布较均匀, 没有在某种矿石中明显富集或者贫化的趋势。3 种矿石与本区花岗岩都具有明显的  $\delta_{Eu}$  负异常, 与花岗岩的不同之处是花岗岩相对富集重稀土, 而层间矿石和脉状矿石相对富集轻稀土, 矽卡岩矿石中轻、重稀土含量的变化较大, 这可能主要与其产出方式及矿物组成有关, 表明稀土元素在运移过程中与围岩(大理岩)发生物质交换的程度存在差异, 同时, 不同类型的矿石均与花岗岩存在着一定的成因联系。

本区层间矿体与我国秦岭热水沉积型矿床相比, 后者矿石中的脉石矿物主要以硅质岩(由  $\alpha$ -石英形成的热水沉积岩)为主<sup>[31]</sup>, 成矿流体对围岩的蚀变作用多发生在下盘围岩<sup>[32]</sup>。在富热水沉积岩的有矿地段, Sr 的含量一般要高于无矿地段, 而其灰质( $\text{Ca}^{2+}$ )的含量低于无矿地段; 同时, Ba 的含量平均也高达  $2064 \times 10^{-6} \sim 2679 \times 10^{-6}$ <sup>[33]</sup>, 这都与本区层间矿体的成矿特点明显不同。

综上所述, 本区层间矿体、脉状矿体与接触带原生硫化物矿床具有同源性, 都主要与本区的花岗岩存在着一定的成因联系, 世界上其他著名的锡矿也多具有类似的特点<sup>[34~37]</sup>。

### 4.2 成矿机制

个旧矿床包裹体的研究资料显示, 含锡花岗岩中锆石和石英包裹体的均一温度分别为  $925 \sim 1056 \text{ }^\circ\text{C}$  和  $800 \sim 1160 \text{ }^\circ\text{C}$ , 包体溶液成分中  $\text{pH} = 5.98 \sim$

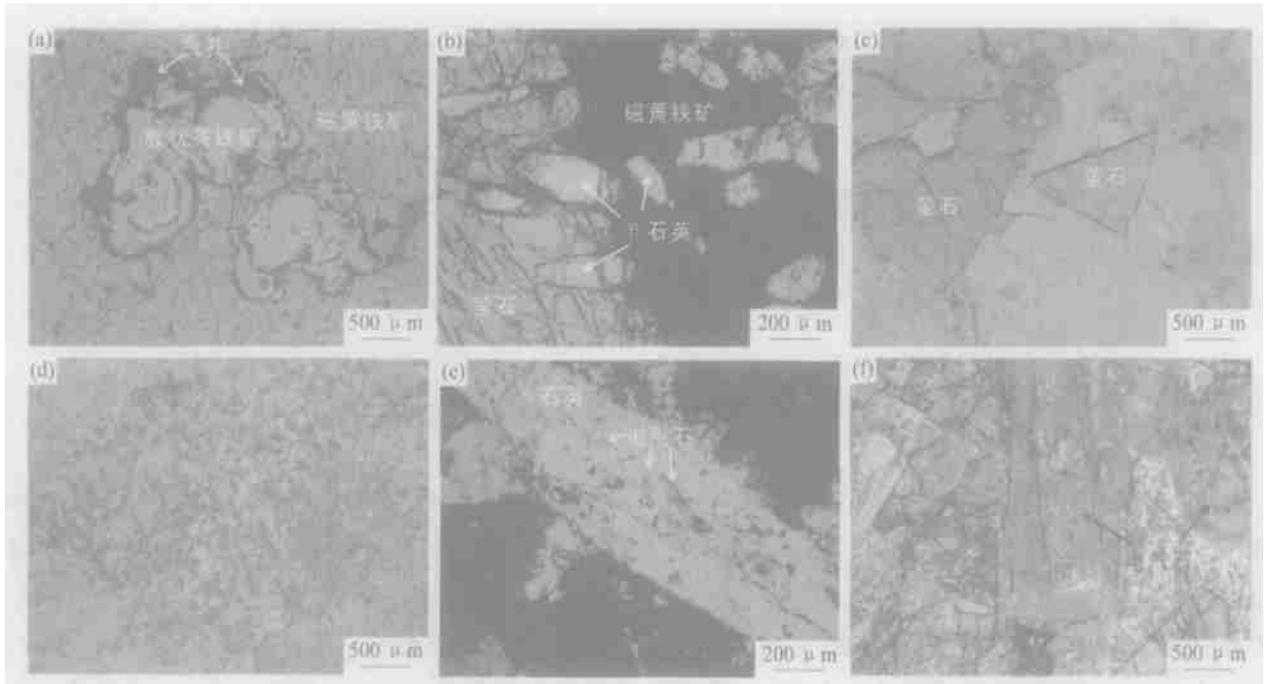


图3 个旧不同类型矿石镜下显微照片

(a) 层状矿石中胶状黄铁矿产于磁黄铁矿内的气孔中(反光); (b) 层状矿石中的萤石和 $\beta$ -石英(单偏光); (c) 矽卡岩矿石中的早期自形萤石(单偏光); (d) 矽卡岩矿石中的晚期细粒它形萤石(单偏光); (e) 矽卡岩矿石中 $\beta$ -石英内的自形电气石包体(单偏光); (f) 脉状矿石中电气石的柱状集合体和环带构造(单偏光)

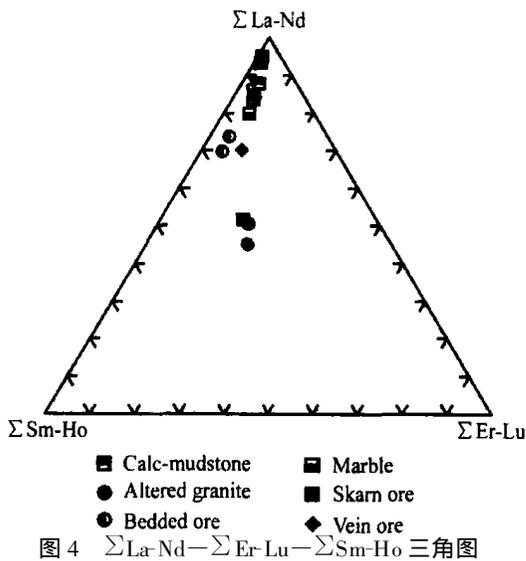


图4  $\Sigma\text{La-Nd}-\Sigma\text{Er-Lu}-\Sigma\text{Sm-Ho}$  三角图

6.55,  $E_h = 0.38 \sim 0.39$ ;  $\text{KCl} + \text{NaCl}$  总盐度高达 77%<sup>[9]</sup>。以上测试数据表明: 个旧地区在燕山期岩浆侵位过程中, 由于封闭围岩的破裂造成高温、高压下的含矿流体产生减压沸腾效应, 含矿气-液体是从下部向上部沿围岩构造带大规模运移的<sup>[10]</sup>, 并具有多期性。其中锡在含矿气-液体中主要是以  $\text{Sn}$  与  $\text{HO}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$  等配合物所形成锡的络合物形

式迁移的<sup>[38~40]</sup>。层间矿体主要是以气态的形式选择不同岩性层间裂隙进行挤压充填进去的, 表现为层状矿体上部围岩比下部围岩的蚀变要强些, 随着气态成矿物质温度的降低, 萤石和高温 $\beta$ -石英以及大量的金属硫化物(黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿等)等相继结晶, 最后被封闭起来少量的气-液残留体形成了胶状黄铁矿; 而脉状矿体和接触带矿体主要是以气-液的形式沿岩浆与围岩(大理岩)的接触带和裂隙进行强烈的充填-交代形成的, 由于含矿气-液体与围岩强烈的交代作用并产生了大量的矽卡岩矿物, 成矿流体中的  $\text{SiO}_2$  被大量消耗掉, 表现为本区矿床中石英的含量(除 $\beta$ -石英外)普遍较少。

致谢: 在野外调研期间得到了云锡公司党玉涛教授级高级工程师、云南有色 308 队地勘院孙绍友院长以及云锡公司矿山技术人员的大力支持, 在成文过程中得到了昆明理工大学秦德先博士生导师以及范柱国副教授、谈树成副教授、马德云博士等人的指导与帮助, 在此一并致谢

#### 参考文献:

- [1] 黄廷然. 个旧原生锡矿典型矿床概论[J]. 云南地质, 1984, 3(1): 36.

- [2] 彭程电. 试论个旧锡矿成矿地质条件及矿床类型、模式 [J]. 云南地质, 1985, 4(1): 18.
- [3] 周怀阳. 论个旧大广地区火山喷气沉积-花岗岩热液叠加改造型锡石硫化物矿床的地质特点及成矿地质条件 [D]. 南京: 南京大学, 1988.
- [4] 於崇文, 蒋耀松. 云南个旧成矿区锡石-硫化物矿床原生金属分带形成的动力学机制 [J]. 地质学报, 1990, 64(3): 226.
- [5] 李希勋, 杨庄, 施琳等. 中国锡矿床, 《中国矿床》委员会, 中国矿床 [M]. 北京: 地质出版社, 1993. 105.
- [6] 庄永秋, 王任重, 杨树培, 等. 云南个旧锡铜多金属矿床 [M]. 北京: 地震出版社, 1996. 1.
- [7] 周建平, 徐克勤, 华仁民, 等. 滇东南锡多金属矿床成因商榷 [J]. 云南地质, 1997, 16(4): 309.
- [8] 方维萱, 胡瑞忠, 高振敏. 扬子地块南缘及邻区大陆动力成矿系统、成矿系列特征与找矿方向 [J]. 矿物学报, 2001, 21(4): 561.
- [9] 方维萱, 胡瑞忠, 谢桂青, 等. 云南哀牢山地区构造岩石地层单元及其构造演化 [J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26(1): 337.
- [10] 贾润幸, 方维萱, 赫英, 等. 云南个旧塘子凹锡多金属矿床微量元素地球化学特征 [J]. 矿物学报, 2004, 24(2): 136.
- [11] Philip R Whitney, James F Olmsted. Rare earth element metasomatism in hydrothermal systems; the willsboro-lewis wollastonites [J]. New York, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 1998, 62(17): 2965.
- [12] 杨学明, 杨晓勇, 陈天虎, 等. 白云鄂博富稀土碳酸岩的地球化学特征 [J]. 中国稀土学报, 1999, 17(4): 289.
- [13] 庞奖励, 孙根年. 陕西煎茶岭矿床的稀土元素地球化学行为 [J]. 中国稀土学报, 1999, 17(4): 359.
- [14] Pang Jiangli. Geochemistry of rare earth elements in hydrothermal ore deposit in Heishan area, Shaanxi Province [J]. *Journal of Rare Earths*, 1999, 19(1): 53.
- [15] Huang Zhibing, Xiao Huayun, Xu Cheng, et al. Geochemistry of rare earth elements in lamprophyres in Laowanzhai gold ore-field, Yunnan Province [J]. *Journal of Rare Earths*, 2000, 18(1): 62.
- [16] Chen Tianhu, Yang Xueming, Yue Shucang, et al. Geochemistry of rare elements in Xikeng Ag Pb Zn ore deposit, South Anhui, China [J]. *Journal of Rare Earths*, 2000, 18(3): 169.
- [17] Yuan Feng, Zhou Taofa, Liu Xiaodong, et al. Geochemistry of rare earth elements of Anhui copper deposit in Anhui Province [J]. *Journal of Rare Earths*, 2002, 20(3): 223.
- [18] Lai Jianqing, Wu Chengjian, Peng Shenglin. REE characteristics and genesis of alkali-rich porphyry, Yunnan Province [J]. *J. Cent. South Univ. Technol.*, 2001, 8(1): 45.
- [19] Xu Cheng, Liu Congqiang, Qi Liang, et al. Geochemistry of carbonatites in Maoniuping REE deposit, Sichuan Province, China [J]. *Science in China (Series D)*, 2003, 46(3): 246.
- [20] Bi Xianwu, Hu Ruihong. REE geochemistry of primitive ore in Ailaoshan gold belt, Southwest China [J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 1998, 17(1): 91.
- [21] Zhan Mingguo, Lu Yuanfa, Dong Fangliu, et al. Genesis of yangla Banded skarn-hosted copper deposit in tethys orogenic belt of Southwestern China [J]. *Journal of China University of Geosciences*, 1999, 10(1): 58.
- [22] 黄成敏, 王成善. 风化成土过程中稀土元素地球化学特征 [J]. 稀土, 2002, 23(5): 46.
- [23] Jean-Jacques Braun, Jérôme Viers, Bernard Dupré, et al. Solid/liquid REE fractionation in the lateritic system of Goyoum, East Cameroon: The implication for the present dynamics of the soil covers of the humid tropical regions [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1998, 62(2): 273.
- [24] Johannesson Kevin H, Zhou Xiaoping. Geochemistry of the rare earth elements in natural terrestrial waters: a review of what is currently known [J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 1997, 16(1): 20.
- [25] Yan Xiuping, Robert Kerrich, Jim Hendry M. Distribution of the rare earth elements in porewaters from a clay-rich aquitard sequence, Saskatchewan, Canada [J]. *Chemical Geology*, 2001, 176: 151.
- [26] Chen Zhihua, Gao Aiguo, Liu Yanguang, et al. REE geochemistry of surface sediments in the Chukchi Sea [J]. *Science in China (Series D)*, 2003, 46(6): 603.
- [27] Yang Weili, Mao Xueying, Dai Xiongxin. Geochemistry of rare earth elements and its significance in the study of climatic and environmental change in barrow, arctic Alaska [J]. *Chinese Journal of Polar Science*, 2001, 12(1): 21.
- [28] Qi Liang, Hu Jing, Deng Hailing. Determination of disperse elements in black shale by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44 (Suppl. 2): 173.
- [29] 王中刚, 于学元, 赵振华. 稀土元素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1989. 349.
- [30] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J. *magmatism in the ocean Basins* [C]. London: Geological Society Special Publication, 1989. 313.
- [31] 方维萱, 刘方杰, 胡瑞忠, 等. 凤太泥盆纪拉分盆地中硅质铁白云岩-硅质岩特征及成岩成矿方式 [J]. 岩石学报, 2000, 16(4): 700.
- [32] 隗合明. 秦岭凤太矿田层控铅(铜)矿床的主要成矿特征及成矿模式 [J]. 地质科学, 1992, (3): 225.
- [33] 薛春纪. 秦岭泥盆纪热水沉积 [M]. 西安: 西安地图出版社, 1997. 1.
- [34] Schwartz M O, Rajah S S, Askary A K, et al. The southeast asian tin belt [J]. *Earth-Science Review*, 1995, 38: 85.
- [35] Nilson F Botelho, Márcia A Moura. Granite-ore deposit relationship in central brazil [J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 1998, 11(5): 427.
- [36] Wallianos A, Dietrich A, Lehmann B, et al. Trace element analyses of melt inclusions as probes for the evolution of Bolivian

- tin porphyry deposits [J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 1999, 158: 621.
- [37] Ross Large, Mark Doyle, Ollie Raymond, et al. Evaluation of the role of Cambrian granites in the genesis of world class VHMS deposits in Tasmania [J]. Ore Geology Reviews, 1996, 10: 215.
- [38] 陈俊, 王汝成, 周建平, 等. 锡的地球化学 [M]. 南京: 南京大学出版社, 2000. 144.
- [39] Xue Yazhou, Liu Puling, Yang Mingyi, et al. Study of spatial and temporal processes of soil erosion on sloping land using rare earth elements as tracers [J]. J. Rare Earths, 2004, 22(5): 707.
- [40] Jia Runxing, Fang Weixian, He Ying, et al. Geochemical characteristics of rare earths elements in gejiu tin polymetallic deposits [J]. J. Rare Earths, 2004, 22(5): 714.

## Geochemical Characteristics of Rare Earth Elements in Tin Polymetal Deposit, Gejiu, Yunnan

Jia Runxing<sup>1, 2</sup>, Fang Weixuan<sup>2\*</sup>, He Ying<sup>1</sup>, Gao Zhenmin<sup>2</sup>, Li Hongyang<sup>2</sup> (1. Key Laboratory of Continental Dynamics of the Ministry of Education, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China; 2. Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

**Abstract:** REE geochemical characteristics were studied by comparing different-type ores (rocks) (altered granite, ore-hosted rock, skarn ores, bedded ores and vein ores) to trace metallogenic matter origin. The result indicates that the metallogenic matters for different type ores are from the same origin mainly related to granites in genesis. In addition, because of the differ-

**Key words:** tin polymetal deposit; genesis; rare earths

ences of metallogenic way, there are some differences for the characteristics of REE and mineral combination in skarn ores, bedded ores and vein ores. LREE are enriched relatively in vein ores and bedded ores and their total REE are lower than that in skarn ores with wide ranges for LREE and HREE.

\* \* \* \* \*

## 白云鄂博微晶丘和相关稀土矿化碳酸盐岩石微量和稀土元素特征

杨晓勇<sup>1\*</sup>, 郑永飞<sup>1</sup>, 杨学明<sup>1</sup>, 章雨旭<sup>2</sup>, 彭阳<sup>2</sup>, 裘丽雯<sup>3</sup>

(1. 中国科技大学地球与空间科学系, 安徽合肥 230026; 2. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 3. 南京大学地球科学系, 江苏南京 210038)

**摘要:** 对我国已确定的两处典型微晶丘的微量和稀土元素组成进行了系统分析测试, 结果表明, 白云鄂博矿床外围东南 20 km 黑老包与北京西山地区下古生界微晶丘碳酸盐岩的微量和稀土元素组成非常相似, 其碳酸岩墙和矿化碳酸盐岩石具有相似的特征, 都具有 Ba, Th, Nb, La, Ce, Nd, Sm 和 Pb 的高异常; Y, Ho, Tb, Er, Yb 中等异常和 Sc, Ti, Cu 的负异常。矿化碳酸盐岩石的稀土含量变化很大, 东西矿区稀土总量从 262 ppm 变化至 104562 ppm, 碳酸岩墙中的稀土含量变化在 1%~20% 之间, 稀土元素配分图解特征是碳酸岩墙具有强烈的轻稀土富集的特点, 且无 Eu 异常, 矿化碳酸盐岩石的稀土配分图解和碳酸岩墙碳酸岩相似; 黑老包腮林忽洞群顶部微晶丘微量和稀土元素组成明显不同于白云鄂博矿床赋矿白云石大理岩, 而与宽沟断裂以北的白云鄂博群 H8 段的沉积灰岩和白云岩相一致。通过本文的两种截然不同产状碳酸盐岩的微量和稀土元素地球化学研究可以得出初步结论, 白云鄂博矿区的碳酸岩是由原地幔流体与沉积碳酸盐岩混合熔融形成, 并在一定程度上形成了富 REE 的碳酸岩流体。这种流体部分交代了矿区外围黑老包地区的沉积微晶丘碳酸盐岩, 使得部分铁矿化岩石的微量和稀土元素组成具有交代流体的特征。

**关键词:** 微晶丘; 微量和稀土元素; 白云鄂博; 北京西山

(全文见: Journal of Rare Earths, 2005, 23(2): 129)