

⑧ 44-49

滇西羊拉铜矿床稀土元素地球化学研究*

潘家永^{1,2} 张乾¹ 李朝阳¹

P618.410.5

1. (中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放实验室 贵阳 550002)
2. (南京大学地球科学系 南京 210008)

摘要 滇西羊拉铜矿是近年来发现的大型铜矿床。本文系统研究了该矿床不同岩石、矿石、矿石矿物及脉石矿物的稀土元素地球化学特征,研究表明:矿区花岗闪长岩具有与壳幔型花岗岩类相似的稀土元素特征;早期形成的块状硫化物矿石及其矿物中稀土元素含量高,富集轻稀土,具有负Eu异常,与赋矿地层碎屑岩、硅质岩的稀土元素球粒陨石标准化配分模式相似,反映其成矿物质来源于上地壳;中晚期形成的夕卡岩矿石及破碎带充填-交代型矿石及其矿物中稀土总量低,相对富集重稀土, Eu异常不明显或有明显的正Eu异常,反映成矿物质可能来自上地幔。

关键词 稀土元素 羊拉铜矿 滇西

地球化学

1 矿床地质概况

羊拉矿床处于“三江”中段中咱地块与江达-维西火山弧之间的金沙江结合带中部,是近年来发现且正在勘探的大型铜多金属矿床。矿区出露的地层为由碎屑岩、碳酸盐岩、变质中基性和基性火山岩组成的二叠系嘎金雪山群,为一套巨厚的洋盆沉积物;区内断裂构造发育,南北向的金沙江、羊拉等断裂控制了该区岩浆岩的分布;区内侵入岩主要为印支期中酸性的花岗闪长岩,其成岩年龄为208~227Ma^[1]。

羊拉铜矿床从北到南分布有贝吾、尼吕、江边、里农、路农、通吉格、加仁等7个矿段,其中里农矿段规模最大(图1)。该矿床产有三种不同类型的铜矿石,分别代表三个不同的成矿期。成矿早期(I)为产在嘎金雪山群火山-沉积碎屑岩中浸染状与块状硫化物矿石,代表海底火山喷流沉积作用的产物;成矿中期(II)为产在火山岩、砂质板岩与大理岩接触带的夕卡岩矿石,代表夕卡岩成矿作用的产物;成矿晚期(III)为产在花岗闪长岩断裂破碎带中的矿石,代表了岩浆期后热液充

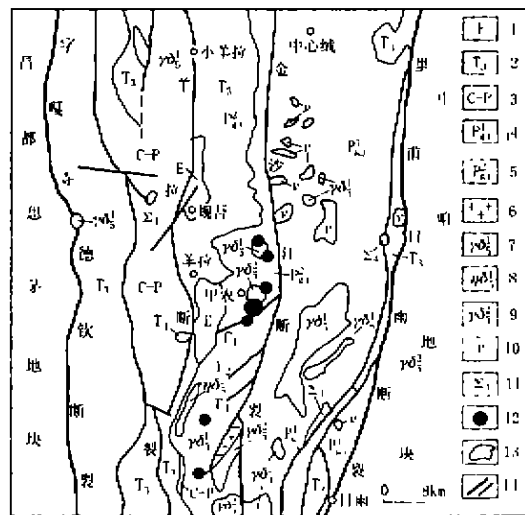


图1 滇西德钦羊拉铜矿区区域地质简图
(据1:20万地质图,部分修改)

Fig. 1. Geological map of the Yangla copper deposit in western Yunnan.

1. 下第三系 2. 上三叠统 3. 石炭-二叠系 4. 二叠系嘎金雪山群上段 5. 二叠系嘎金雪山群下段 6. 混合岩 7. 花岗闪长岩 8. 二长花岗岩 9. 岗斑岩 10. 辉长岩 11. 超基性岩 12. 铜矿体(点) 13. 地层界限 14. 断层

ISSN 1000-4734 1999年5月收稿 1999年7月改回
第一作者简介 潘家永 男 1967年生 副研究员(博士) 从事矿床地球化学研究工作

* 中国科学院重点项目(KZ952-SI-407)资助

填交代作用的产物^①。

2 稀土元素地球化学特征

在 ICP-MS 上精确测定了各类岩石、矿石与不同成矿期矿石矿物、脉石矿物稀土元素组成,不同的岩矿石、矿石矿物与脉石矿物稀土元素组成具有不同的地球化学特征(表 1)。

2.1 岩浆岩

矿区内出露的岩浆岩为印支期的中酸性花岗闪长岩,花岗闪长岩 ΣREE 为 $99.64 \times 10^{-6} \sim 225.71 \times 10^{-6}$, 平均 157.53×10^{-6} , 明显富轻稀土(LREE/HREE 为 11.69~24.30), Ce 与 Eu 的异常不明显(δCe 、 δEu 分别为 0.97 与 0.90)。花岗闪长岩稀土元素球粒陨石标准化模式为右倾的平滑曲线, 轻稀土富集, Eu 的异常不明显(图 2c)。

2.2 嘎金雪山群火山-沉积建造

嘎金雪山群是由碎屑岩、碳酸盐岩、变质中基性和基性火山岩组成的巨厚的洋盆沉积物, 不同的岩性具有不同的稀土元素特征。

笔者首次在羊拉矿区发现了 4 层硅质岩, 为典型的热液沉积硅质岩, 且与成矿早期形成的块状硫化物矿体关系密切^①。硅质岩的稀土总量(ΣREE)很低, 仅为 $0.66 \times 10^{-6} \sim 1.56 \times 10^{-6}$, 与石英的 ΣREE ($0.96 \times 10^{-6} \sim 1.54 \times 10^{-6}$) 相当。硅质岩稀土元素球粒陨石标准化模式是一组右倾曲线, 轻稀土(LREE)相对重稀土(HREE)富集, LREE/HREE 为 5.83~10.38, 且具有明显的负 Eu 异常(δEu 为 0.27~0.92, 平均 0.54), 同时也具有弱的正 Ce 异常(δCe 为 1.04~1.13, 平均 1.10)(图 2a, 表 1)。硅质岩的稀土元素北美页岩标准化模式为一组近于平坦的曲线, 具有 Ce 的正异常, 其中 yn-11、yn-26 具有明显的正 Eu 异常, 而其它三条曲线具有明显的负 Eu 异常(图 2b)。

嘎金雪山群碎屑岩(砂质板岩)稀土含量最高, ΣREE 为 $121.99 \times 10^{-6} \sim 192.27 \times 10^{-6}$, LREE/HREE 为 6.87~8.08, 而大理岩中稀土含量很低, ΣREE 仅为 3.17×10^{-6} , LREE/HREE 为 2.40。砂质板岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式为向右倾的曲线, 具有明显的 Eu 异常(δEu 为 0.61~0.64); 大理岩稀土元素球粒陨石

标准化配分模式为一近于平坦的曲线, 只具有弱的 Eu 负异常(δEu 为 0.86)(表 1, 图 2c)。

嘎金雪山群中火山岩(安山岩与玄武岩) ΣREE 分别为 90.63×10^{-6} 与 61.63×10^{-6} 。安山岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式为一条轻微右倾的平滑曲线, 而玄武岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式为一近于平坦的曲线, 两者都没有 Eu 的异常(表 1, 图 2c)。

2.3 矿石

羊拉矿床产有 3 种明显不同的矿石类型, 矿石(I)为成矿早期形成的块状硫化物矿石, 矿石(II)为成矿中期形成的夕卡岩矿石, 矿石(III)为成矿晚期形成的破碎带矿石。矿石(I)的 ΣREE 为 79.98×10^{-6} , 具有弱的负 Eu 异常(δEu 为 0.89); 而矿石(II)与矿石(III)稀土总量很低(ΣREE 分别为 $7.00 \times 10^{-6} \sim 22.75 \times 10^{-6}$ 与 7.85×10^{-6}), 且具有明显的 Eu 正异常(δEu 分别为 1.28~3.52 与 2.11)。在稀土元素球粒陨石标准化配分模式图上, 矿石(I)为一条向右倾平滑曲线, 而矿石(II)与矿石(III)为具有明显 Eu 正异常的曲线(图 2d)。

2.4 矿石矿物

分别测试了 3 种不同类型矿石中黄铜矿、黄铁矿及磁黄铁矿等矿石矿物的稀土元素组成(表 1)。同样成矿早期(I)形成的矿石矿物(黄铁矿、黄铜矿)中含有比中、晚期(II、III)形成的矿石矿物(黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿)中高得多的稀土含量, 前者 ΣREE 为 $61.26 \times 10^{-6} \sim 84.32 \times 10^{-6}$, 而后者仅为 $0.96 \times 10^{-6} \sim 5.00 \times 10^{-6}$; 前者具有明显的 Eu 负异常(δEu 为 0.54~0.67), 而后者具有明显的 Eu 正异常或 Eu 异常不明显(δEu 分别为 0.86~3.11 与 0.79~3.04); 两者的球粒陨石标准化配分模式也明显不同, 前者为向右倾的“V”型曲线, 而后者为一近于平坦的曲线(图 2e)。

2.5 脉石矿物

羊拉矿床主要脉石矿物为石英与方解石, 分别测定了 3 个成矿期石英与方解石的稀土元素组成(表 1)。相比而言, 方解石中含有比石英高得多的稀土元素, 前者 ΣREE 为 $31.05 \times 10^{-6} \sim 168.49 \times 10^{-6}$, 而后者仅为 $0.35 \times 10^{-6} \sim 1.75 \times 10^{-6}$ 。从不同成矿期形成的脉石矿物看, 成矿早

① 潘家永. 滇西铜多金属矿带地球化学特征及成矿机理. 中科院地化所博士论文, 1999.

表 1 羊拉铜矿岩石、矿石及矿物稀土元素组成 ($\times 10^{-6}$)

Table 1 REE contents of rocks, ores and minerals from the Yangla copper deposit

样品名称	样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ REE	$\frac{LREE}{HREE}$	δ_{Eu}	δ_{Ce}	δ_{Er}	$\frac{(La/Yb)_N}{(Lu/Yb)_N}$	
花岗岩(岩体)	平均	42.952	72.039	7.226	21.628	3.931	0.905	2.559	0.422	2.369	0.465	1.335	0.194	1.308	0.195	157.53	16.82	0.97	0.90	6.83	1.59	22.51
	yu-11	0.150	0.282	0.024	0.110	0.017	0.005	0.016	0.004	0.020	0.004	0.014	0.002	0.012	0.002	0.66	7.95	1.13	0.92	5.55	1.08	8.43
硅质岩	yu-16	0.230	0.419	0.041	0.174	0.039	0.004	0.037	0.007	0.031	0.005	0.022	0.003	0.016	0.003	1.03	7.31	1.04	0.32	3.71	1.87	9.69
	yu-26	0.353	0.622	0.053	0.225	0.060	0.016	0.058	0.009	0.060	0.012	0.035	0.005	0.043	0.006	1.56	5.83	1.09	0.82	3.7	1.09	5.53
	yu-4	0.271	0.450	0.037	0.150	0.026	0.002	0.019	0.005	0.025	0.006	0.015	0.003	0.020	0.002	1.03	9.85	1.08	0.27	6.56	0.77	9.14
	yu-4	0.260	0.450	0.034	0.160	0.027	0.003	0.022	0.006	0.029	0.004	0.011	0.002	0.014	0.002	1.02	10.38	1.15	0.37	6.06	1.27	12.52
灰山岩	yu-117	17.205	33.288	3.964	17.013	3.542	0.994	3.533	0.661	4.128	0.714	2.213	0.316	2.701	0.361	90.63	5.20	0.97	0.85	3.06	1.06	4.29
玄武岩	yu-133	7.647	16.920	2.356	11.330	3.327	1.256	3.743	0.750	5.051	1.438	3.557	0.353	3.498	0.405	61.63	2.28	0.96	1.08	1.45	0.86	1.47
大理岩	yu-122	0.768	0.919	0.131	0.232	0.144	0.039	0.133	0.036	0.310	0.041	0.157	0.046	0.181	0.028	3.17	2.40	0.7	0.86	3.35	0.59	2.86
砂质板岩	yu-120	24.147	48.852	5.580	22.878	4.246	0.795	3.641	0.718	4.353	0.715	2.394	0.307	3.029	0.337	121.99	6.87	1.01	0.61	3.58	0.97	5.37
	yu-141	41.004	76.495	8.936	36.212	7.122	1.325	5.601	1.027	5.699	1.075	3.076	0.395	3.822	0.483	192.27	8.08	0.96	0.64	3.62	1.18	7.23
砂岩(I)	yu-60	14.237	29.479	3.574	15.132	3.851	0.968	2.832	0.561	3.452	0.581	2.055	0.268	2.664	0.328	79.98	5.28	0.99	0.89	2.33	0.86	3.6
砂岩(II)	yu-71	1.539	2.134	0.401	0.872	0.254	0.122	0.332	0.058	0.383	0.093	0.281	0.029	0.438	0.060	7.00	3.18	0.65	1.28	3.81	0.61	2.37
砂岩(III)	yu-46	1.615	5.947	1.108	4.132	1.043	0.253	1.121	0.229	1.406	0.308	1.333	0.219	2.718	0.322	22.75	1.97	1.07	3.52	0.97	0.33	0.4
黄铁矿(I)	yu-108	1.978	2.939	0.309	0.674	0.316	0.229	0.343	0.073	0.438	0.074	0.203	0.030	0.216	0.032	7.85	4.57	0.9	2.11	3.94	1.28	6.17
	yu-19	16.771	25.199	3.268	12.506	2.123	0.431	1.788	0.334	1.734	0.334	0.977	0.113	1.096	0.116	66.79	9.29	0.82	0.67	4.97	1.32	10.32
	yu-21	22.411	34.261	4.429	15.954	2.432	0.412	1.631	0.226	1.069	0.156	0.602	0.057	0.603	0.076	84.32	18.08	0.83	0.63	5.8	2.18	25.06
黄铁矿(II)	yu-58b	14.208	20.945	2.946	0.915	2.345	0.406	2.253	0.470	2.837	0.499	1.500	0.197	1.588	0.155	61.26	5.45	0.78	0.54	3.81	1.14	6.03
	yu-71	1.035	1.715	0.295	0.320	0.185	0.141	0.243	0.044	0.295	0.083	0.218	0.033	0.346	0.048	5.00	2.82	0.75	2.02	3.52	0.57	2.02
	yu-71	0.305	0.671	0.102	0.136	0.208	0.080	0.388	0.079	0.453	0.132	0.598	0.105	0.864	0.115	4.23	0.55	0.92	0.86	0.92	0.36	0.24
磁黄铁矿(非)	yu-72	0.268	0.011	0.026	0.055	0.048	0.048	0.040	0.012	0.106	0.031	0.128	0.020	0.105	0.007	0.96	1.14	1.9	3.11	1.2	0.31	0.67
黄铁矿(III)	yu-20	0.512	0.682	0.058	0.045	0.031	0.032	0.033	0.020	0.169	0.015	0.034	0.007	0.037	0.009	1.68	4.20	0.95	3.04	10.39	0.72	9.33
	yu-56a	0.891	1.674	0.215	0.333	0.211	0.061	0.260	0.044	0.310	0.057	0.169	0.021	0.172	0.035	4.45	3.17	0.92	0.79	2.66	1.22	3.49
石英(I)	yu-38	0.166	0.337	0.034	0.110	0.025	0.002	0.020	0.005	0.021	0.006	0.014	0.003	0.017	0.006	0.77	7.33	1.08	0.27	4.18	0.95	6.58
	yu-45	0.335	0.744	0.073	0.232	0.067	0.011	0.071	0.014	0.073	0.015	0.043	0.007	0.053	0.008	1.75	5.15	1.15	0.48	3.15	1.08	4.26
	yu-107	0.080	0.149	0.013	0.050	0.012	0.002	0.011	0.003	0.009	0.002	0.008	0.002	0.005	0.002	0.35	7.29	1.11	0.53	4.19	1.78	10.79
石英(II)	yu-25	0.270	0.438	0.042	0.078	0.030	0.010	0.033	0.006	0.017	0.007	0.020	0.004	0.014	0.003	0.97	8.35	0.99	0.97	5.66	1.9	13
	yu-72	0.193	0.394	0.041	0.150	0.045	0.013	0.037	0.009	0.036	0.006	0.023	0.003	0.016	0.004	0.97	6.24	1.07	0.97	2.7	1.87	8.13
石英(III)	yu-139	0.339	0.635	0.071	0.147	0.050	0.027	0.042	0.014	0.066	0.015	0.054	0.008	0.063	0.009	1.54	4.68	0.99	1.79	4.26	0.54	3.63
方解石(I)	yu-14	29.004	59.643	7.454	31.174	8.038	1.828	7.611	1.639	9.830	1.810	5.158	0.382	4.281	0.433	168.49	4.38	0.98	0.71	2.27	1.43	4.57
	yu-20b	6.320	10.877	1.255	4.949	1.318	0.289	1.533	0.311	1.859	0.335	1.019	0.112	0.793	0.078	31.05	4.14	0.93	0.62	3.02	1.56	5.37
方解石(III)	yu-56 A	16.063	24.263	2.813	10.736	2.934	1.941	3.739	0.625	3.269	0.510	1.405	0.108	0.779	0.081	69.27	5.59	0.87	1.78	3.44	3.87	13.9

注:测试者:中国科学院地球化学研究所。

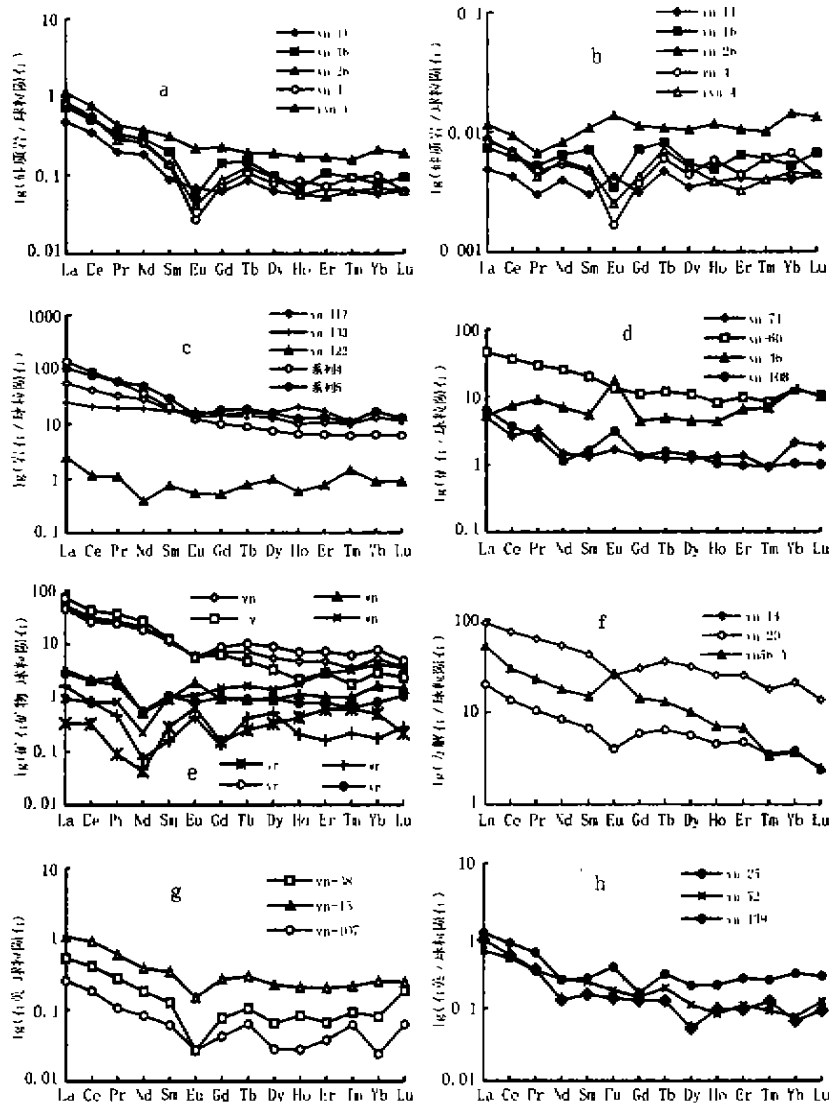


图 2 羊拉铜矿床岩石、矿石及其矿物稀土元素配分模式

Fig. 2. REE abundance distribution patterns of rocks, ores and minerals from the Yangla copper ore deposit.

a. 硅质岩/球粒陨石 b. 硅质岩/北美页岩 c. 岩石/球粒陨石 d. 矿石/球粒陨石 e. 矿石矿物/球粒陨石 f. 方解石/球粒陨石 g. 石英(I)/球粒陨石 h. 石英(II、III)/球粒陨石(系列 4 为花岗岩长岩平均, 系列 5 为砂质板岩平均, 其余样号与表 2 相同)

期形成的石英与方解石中稀土组成具有明显 Eu 的负异常(δEu 为 0.27~0.71), 其球粒陨石标准化配分模式为一条向右倾的“V”曲线; 而成矿中期形成的石英没有 Eu 异常(δEu 为 0.97), 成矿晚期形成的石英与方解石具有明显 Eu 的正异常(δEu 为 1.78~1.79)(图 2f, g, h)。

3 讨论

3.1 矿区硅质岩层的发现对矿床成因的意义

羊拉铜矿区发现的 4 层硅质岩呈层状、似层

状产出, 与地层产状一致, 与热液作用形成的石英脉相区别; 同时硅质岩中石英为不规则的粒状、呈镶嵌状及结晶粒状结构区别于沉积碎屑石英。硅质岩稀土元素球粒陨石标准化模式是一组右倾的曲线, 轻稀土明显高于重稀土的含量, 具有明显的负 Eu 异常, 而其北美页岩标准化模式是一组近似平坦的曲线, 具有 Ce 的正异常(图 2a, b)。这些特征与世界一些典型的热液沉积硅质岩是一致的^[3,4]。矿区硅质岩层的发现为该矿床块状硫化物矿石为典型的海底喷流沉积作用的产物提供了

直接的证据。不论是地质产状还是地球化学特征,硅质岩与早期形成的块状硫化物矿石具有密切的关系,主要表现在:① 硅质岩所赋存的层位正是块状硫化物矿石的赋矿层位,且在该矿区发现的4层硅质岩中,有3层离矿体很近,最近的的仅4~5m,由此可见硅质岩在空间上与块状硫化物矿石密切相关;② 硅质岩中Cu、Au、Ag(含Cu、Au、Ag分别为 $81.52 \times 10^{-6} \sim 158.38 \times 10^{-6}$, $7.70 \times 10^{-9} \sim 32.60 \times 10^{-9}$, $0.58 \times 10^{-6} \sim 4.67 \times 10^{-6}$)明显富集,而块状硫化物矿石除Cu含量很高外,Au、Ag也明显富集并可综合利用(Au、Ag含量分别为 $90 \times 10^{-9} \sim 795 \times 10^{-9}$ 与 $6.8 \times 10^{-6} \sim 16.2 \times 10^{-6}$),其Co/Ni比值也都小于1;③ 硅质岩($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 分别为18.297, 15.575, 38.302)与块状硫化物矿石($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 分别为18.277~18.369, 15.622~15.680, 38.435~38.611)具有相似的铅同位素组成,显示了它们铅源的一致;④ 硅质岩的稀土元素球粒陨石标准化配分模式与早期形成的块状硫化物矿石、矿石矿物及脉石矿物的稀土元素球粒陨石标准化配分模式具有相似的曲线特征,且都具有负Eu异常,而与中晚期形成的矿石、矿石矿物及脉石矿物稀土元素特征有明显的不同,这显示了硅质岩与块状硫化物矿石成因上的密切关系。该区硅质岩为典型的热水沉积硅质岩,无疑这指示该矿区块状硫化物矿石是热水沉积作用的产物;而块状硫化物矿体的赋矿岩石为一套巨厚的洋盆沉积物,因此该矿区块状硫化物矿体应是海底喷流沉积作用的产物。

3.2 不同成矿期矿石及矿物稀土元素的差异指示了其矿床成因的差异

成矿早期块状硫化物矿石、矿石矿物与脉石矿物明显富集轻稀土,具有明显的负Eu异常,稀土元素球粒陨石标准化配分模式为向右倾的“V”型曲线,与矿区火山-沉积建造中碎屑岩、硅质岩的稀土元素地球化学特征一致,显示它们成因上的一致,是海底火山喷流沉积作用的产物。

成矿中期形成的夕卡岩型矿石与成矿晚期形成的破碎带充填-交代型矿石、矿石矿物、脉石矿物稀土元素特征参数具有相似的特征,具有明显的正Eu异常或Eu异常不明显,稀土元素球粒陨石标准化配分模式相似,表明矿石类型尽管不同,

但它们具有密切的成因联系。从矿体地质特征看,它们的成矿都与岩浆作用密切相关,成矿中晚期夕卡岩型矿石是岩浆热接触变质作用的产物,而晚期破碎带矿石是岩浆期后热液交代-充填的产物。

在 $\delta\text{Eu}-(\text{La}/\text{Yb})_N$ 图中,成矿早期(I)形成的矿石、矿石矿物与脉石矿物的投点都分布在 $\delta\text{Eu} < 1$ 的I区,而成矿中晚期(II、III)形成的矿石、矿石矿物及脉石矿物的投点绝大部分分布在 $\delta\text{Eu} > 1$ 的II区(图3)。

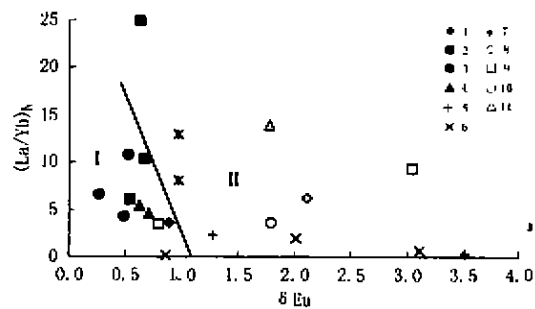


图3 羊拉铜矿矿石及其矿物 $\delta\text{Eu}-(\text{La}/\text{Yb})_N$ 散点图

Fig. 3. $\delta\text{Eu}-(\text{La}/\text{Yb})_N$ diagram of ores

and minerals from the Yangla copper deposit.

1. 矿石(I) 2. 矿石矿物(I) 3. 石英(I) 4. 方解石(I)
5. 矿石(II) 6. 矿石矿物(II) 7. 石英(II) 8. 矿石(III)
9. 矿石矿物(III) 10. 石英(III) 11. 方解石(III)

3.3 稀土元素对成矿物质来源的指示意义

石英是稳定的架状矿物, Si^{4+} 与稀土元素的离子半径差别很大,稀土元素不可能以类质同象形式进入矿物晶格,而只是以固相微观机械混入物与流体包裹体形式存在于石英中;同时石英中稀土元素也不存在选择性富集,稀土元素的含量取决于石英形成的介质环境,因此,石英中稀土元素特征基本上反映了形成时初始溶液的稀土元素地球化学特征^[5]。

成矿早期石英中稀土元素含量尽管远低于赋矿岩石建造中碎屑岩与硅质岩,然而具有与它们一致稀土元素球粒陨石标准化配分模式,都富轻稀土,都具有明显的负Eu异常,与早期形成的矿石及矿石矿物的稀土元素特征也是一致的,这表明,成矿早期形成的块状硫化物矿石其成矿物质很可能来源于上地壳赋矿地层。

成矿中晚期形成的石英、矿石及矿石矿物重稀土相对富集,且大部分样品具有明显的正Eu异常,其稀土球粒陨石标准化配分模式与成矿早期形成的矿石及其矿物明显不同。王中刚等

(1989)认为,上地幔中稀土组成为近平均的球粒陨石型分布模式,稀土总量低(仅为球粒陨石的1.5~2倍),Eu无亏损;下地壳轻稀土富集,Eu也无亏损;上地壳则明显富集轻稀土,Eu中度亏损^[2]。成矿中晚期矿石及矿石矿物具有与上地幔一致的稀土元素组成,是否意味着成矿中晚期有上地幔成矿物质的参与?

铅同位素研究表明,早期热水沉积作用形成的块状硫化物矿石(I)的3组铅同位素组成分别为18.277~18.369,15.622~15.680,38.435~38.611,在Zartman铅同位素构造图上位于上地

壳与造山带之间,具有壳源铅特征;而中晚期形成的矿石(II)(3组铅同位素组成分别为17.985~18.211,15.434~15.519,37.998~38.358)与矿石(III)(3组铅同位素组成分别为18.023~18.256,15.436~15.590,37.833~38.334)的铅同位素组成明显比矿石(I)低,在Zartman铅构造图上位于上地幔与造山带之间,具有幔源铅的特征。这从另一方面证明了成矿早期成矿物质主要来源于上地壳,而成矿中晚期成矿物质主要来源于地壳深部的岩浆活动或上地幔,这与稀土元素所得出的结论是一致的。

参 考 文 献

- 1 魏君奇,战明国,路远发,等.滇西德钦羊拉矿区花岗岩类地球化学.华南地质与矿产.1997(4):50~56
- 2 王中刚,于学元,赵振华,等编著.稀土元素地球化学.北京:科学出版社,1989.76~212
- 3 Pollock S G. Chert formation in an Ordovician volcanic arc. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1987. 57:75~87
- 4 Yongzhang Zhou. *Geology and geochemistry of Hetai gold field, Southern China*. China: South China University of Technology Press. Guangzhou, 1993. 53~107
- 5 Norman D L, Kyle P R and Baron. Analysis of trace elements including rare elements in fluids inclusion liquid. *Econ. Geol.*, 1989. 84:162~166

REE GEOCHEMISTRY OF THE YANGLA COPPER DEPOSIT IN WESTERN YUNNAN

Pan Jiayong^{1,2} Zhang Qian¹ Li Caoyang¹

1. (Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

2. (Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210008)

Abstract: The Yangla copper deposit is a large-scale ore deposit, which was discovered in western Yunnan. We systematically studied REE geochemical characteristics of different rocks, ores and minerals and have drawn the conclusions as follows. Ores and minerals of the early ore-forming period are characterized by high Σ REE, high LREE and Eu depletion and these characteristics show that ore source of the early ore-forming period is the crust. Ores and minerals of the middle and later ore-forming periods are characterized by low Σ REE, high HREE and no Eu anomaly and these characteristics show that the ore source of the middle and later ore-forming periods is the upper mantle.

Key words: REE; Yangla copper deposit; western Yunnan