

铜陵石炭系层状金属硫化物矿床稀土地球化学

傅德鑫 周华平

(南京地质矿产研究所)

内容提要 本文揭示铜陵石炭系层状金属硫化物矿床中沉积围岩、侵入岩、蚀变岩及矿石矿物的稀土元素特征。不同产状、不同成分和来源的成矿热液,在不同成矿阶段中,各矿物组合中矿石矿物的稀土元素性状各异。

关键词 层状金属矿床; 稀土元素; 石炭系; 铜陵。

近年来,稀土元素地球化学在研究岩浆岩及岩浆起源和演化方面得到了较成功的应用,但在矿床研究应用上,仍处于资料积累和探索阶段。笔者试图通过对铜陵石炭系层状金属硫化物矿床的赋矿地层、岩浆岩、蚀变岩及不同阶段形成的矿物之稀土元素数据,结合稳定同位素资料,探索它在不同阶段成矿流体中的性状和行为,为矿床研究提供某些信息。

稀土元素分析包括,除 Pm (原子序数 61)以外的,La-Lu (原子序数 57-71)及 Y 等 15 个元素。其数据均经球粒陨石标准化。球粒陨石标准化数据采用 A.G.Herrman 对 22 个球粒陨石和 9 个球粒陨石组合 26 次测定的平均值计算所得。

一、层状金属硫化物矿床地质

铜陵地区是长江中下游成矿带中一个重要的金属硫化物成矿区。它处于扬子地体北部中段、黄石——铜陵隆起之东端。航磁资料揭示,区内以 EW 向、SN 向深断裂与 NE 向、NW 向浅部盖层断裂交切,控制 EW 向展布的构造岩浆带,构成 EW 向圈闭的物理、化学场。

晚侏罗世至早白垩世岩浆侵入活动以同熔型高碱富钾的中性、中酸性侵入体为特征。区内一系列 NE 向“S”型背斜倾伏端附近岩株状侵入体较为集中,在其附近的石炭系——三叠系碳酸盐地层,特别是上覆于碎屑岩之上的白云岩段,是层状金属硫化物矿床主矿体的主要赋存位置。此外,在不同岩性段界面或其上下位置,也有似层状、透镜状次要矿体产出。层状矿体矿物组合具有明显的分带性,水平方向矿物组合变化:近岩体以岩浆水为主的成矿介质水形成的矿物组合主要为透辉石、透闪石、蛇纹石、磁铁矿,向外渐变为以混合水热液形成的透闪石、蛇纹石、磁黄铁矿组合,黄铁矿、石英、方解石组合及以大气水为主的热液形成的菱铁矿、黄铁矿(胶黄铁矿)、方铅矿、闪锌矿、白云石、方解石组合,垂向上也

出现相似的分带性。

二、矿床稀土地球化学

早石炭世,岩关阶以滨海相——海陆交互相碎屑沉积为主,缺失大塘阶。其上与威宁期滞留沉积的底部砾岩呈假合接触。威宁早期,以潮坪相白云岩为主,南、北均与局限台地相相接。威宁中、晚期为局限台地相生物碎屑灰岩,南、北与开阔台地相接。马平期,以滩相藻团块、藻核形石灰岩为特征,南与局限台地相接。不同时期、不同沉积相岩石的稀土元素呈规律性变化。威宁初期底部砾岩的 ΣREE 最高(表 1),高出其它岩性段数十倍, LREE/HREE 比值最大,模式曲线呈右倾、弱 Eu 异常、无或弱负 Ce 异常的平坦型曲线

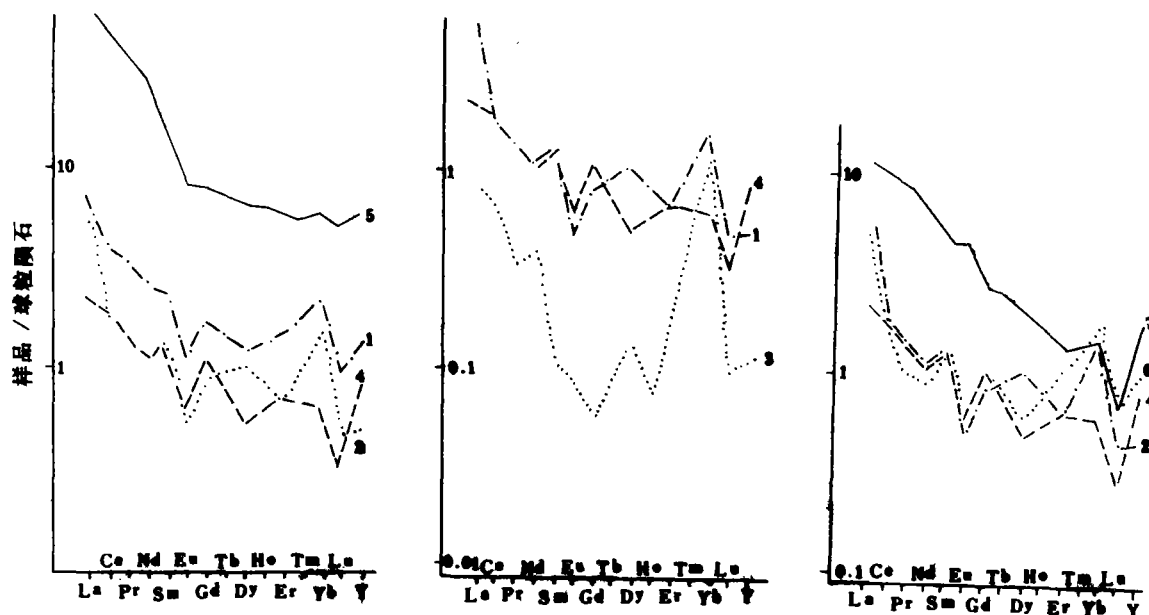


图 1 上石炭统碳酸盐岩稀土模式曲线图

Fig.1. REE model of Upper Carboniferous carbonate rocks

(图 1)。后生作用有大量淡水渗入,去云化作用形成的巨晶灰岩 ΣREE 最低,具弱 Eu、Ce 正异常,不同于其它岩性段。各岩性段 ΣREE 随沉积环境由浅——深——浅的演化呈高——低——高的规律性变化。晚石炭世碳酸盐岩中 ΣREE 和 LREE/HREE 比值呈正相关关系: $\text{LREE}/\text{HREE} = 0.0244\Sigma\text{REE} + 1.850$, 相关系数 $r = 0.9591$, 斜率为 0.0244, 线性关系

表 1 碳酸盐岩稀土元素含量 (ppm) 及特征值

Table 1. REE composition (ppm) and characteristic value of carbonate rocks

编号	1	2	3	4	5	6	7
岩石	船山灰岩	黄龙灰岩	巨晶灰岩	白云岩	底部砾岩	大理岩	白云质大理岩
La	2.24	1.75	0.251	0.697	21.9	1.38	3.69
Ce	3.74	1.71	0.599	1.68	45.3	1.55	9.1
Pr	0.398	0.157	0.041	0.154	4.195	0.123	1.018
Nd	1.54	0.656	0.228	0.642	15.5	0.531	3.82
Sm	0.455	0.258	0.021	0.238	2.84	0.281	0.925
Eu	0.076	0.034	0.006	0.043	0.593	0.048	0.316
Gd	0.571	0.251	0.017	0.327	2.38	0.331	0.872
Tb	0.071	0.047	0.005	0.038	0.362	0.042	0.124
Dy	0.354	0.317	0.04	0.15	1.99	0.187	0.632
Ho	0.094	0.059	0.005	0.042	0.438	0.060	0.123
Er	0.292	0.131	0	0.136	1.19	0.211	0.289
Tm	0.056	0.033	0.018	0.021	0.177	0.045	0.047
Yb	0.402	0.279	0.21	0.113	1.05	0.348	0.29
Lu	0.029	0.014	0.003	0.009	0.15	0.023	0.021
Y	2.42	0.935	0.219	1.51	10.7	1.94	3.74
Σ REE	12.684	6.631	1.663	5.8	108.765	7.11	25.007
LREE/HREE	1.995	2.209	2.216	1.472	4.899	1.223	3.074
δ Eu	0.528	0.443	1.028	0.524	0.742	0.531	1.163
δ Ce	0.771	0.536	1.131	1.032	0.932	0.617	0.967

甚好,可信度较高,随 Σ REE 的增高,LREE/HREE 变化甚小,可见碳酸盐岩轻、重稀土分配相对稳定。黄龙组白云岩和灰岩在受热变质后,它们的稀土地球化学行为各异。灰岩 Σ REE、LREE/HREE 及模式曲线均没有较大变化;白云岩受热变质后形成白云质大理岩,其 Σ REE = 25.007ppm,是变质前白云岩的 4 倍,且 LREE/HREE 比值和 δ Eu 值也相应增大。二者的这种差异,可能是由于灰岩,相对于白云岩,不透水性和化学稳定性较好,而白云岩,在上有灰岩作圈闭,下有富稀土的底部砾岩的条件下,在热力作用下,温度上升,促使稀土元素溶解、活化、转移引起。白云质大理岩 δ Eu 值较高,说明热变质作用是处于氧化环境下进行的,而 LREE/HREE 比值的增高,表明重稀土元素活化、转移更强,它主要进入

流体相中,而显得有更大的淋失。

侵入岩株主体岩石石英二长闪长石和岩枝闪长玢岩及晚期岩脉安山玢岩的稀土含量及特征值有明显差异,以主体岩石石英二长闪长岩 ΣREE 最低,而晚期岩脉最高,显示出 ΣREE 、 LREE 、 HREE 均随岩石基性程度的增高而递增(表 2),而 LREE/HREE 呈相反变化趋势。 ΣREE 和 LREE/HREE 有较好的负关性,模式曲线(图 2)属右倾无或弱 Eu 异

表 2 铜官山岩体稀土组成及特征值 (ppm)

Table 2. REE composition (ppm) and characteristic value of Tong-Guanshan rock-body

序号	产状	岩性	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd
1	主岩体	石英二长闪长岩	32	60	27.33	4.57	1.25	3.5
2	岩枝	闪长玢岩	37	73	34	5.6	1.73	5.1
3	岩脉	安山玢岩	37	74.5	38.5	7.5	1.845	5.95

Dy	Er	Yb	Y	ΣREE	LREE/HREE	Ce/Yb	La/Sm	La/Yb	δEu
1.93	0.93	0.92	9.8	145.23	7.33	13.18	4.38	20.65	1.00
3.50	1.74	1.76	17.4	180.83	5.13	8.38	4.3	12.48	1.07
5.50	3.10	2.70	28.5	205.095	3.48	5.58	3.08	8.4	0.89

常、弱 Ce 负异常平坦型。基性程度较高者,斜长石中钙长石分子也高,它易于容纳稀土元素,边缘岩枝和晚期岩脉同时又较富集挥发组分 H_2O^+ 、 CO_2 等,重稀土相对较富集,致使 LREE/HREE 比值降低。侵入体侵入,在接触附近,黄龙组白云岩在以岩浆水为主的热液蚀液蚀变作用下,形成蛇纹石岩,其 ΣREE 、 LREE/HREE 均低于侵入岩而高于白云岩(表 3), δEu 值 0.190–0.254,平均 0.212,保留了白云岩明显 Eu 负异常特点,且明显增大(图 3),Er、Tm、Yb、Lu 等含量与侵入岩相近,但明显高于白云岩,表明岩浆侵入后,在岩浆水为主的热液作用下,侵入岩、白云岩及下伏碎屑岩中的稀土元素均得以活化、转移,特别是侵入岩中的 Er、Tm、Yb、Lu 等在蚀变岩石中得到富集,但 Eu 并不进入蚀变矿物晶格中,仍残留在热液体中。

表 3 蛇纹石岩稀土元素、组成及特征值 (ppm)

Table 3. REE composition (ppm) and characteristic value of serpentine

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
WT111-101	0.71	2.6	1.97	7.4	1.34	0.08	0.98	0.13	0.59	0.22
WT194-106	1.75	5.0	2.22	8.3	1.57	0.11	1.24	0.15	0.65	0.23
WT173-3	0.50	1.87	1.48	5.6	0.97	0.05	0.72	0.11	0.60	0.21
WT4-2	0.82	2.6	1.89	7.1	1.26	0.06	0.86	0.11	0.43	0.21

Er	Tm	Yb	Lu	Y	Σ REE	LREE/HREE	Ce/Yb	La/Sm	La/Yb	δ Eu	δ Ce
0.84	0.17	1.27	0.20	3.3	21.8	1.831	0.413	0.331	0.559	0.222	0.296
0.85	0.16	1.15	0.18	3.5	27.06	2.336	0.878	0.696	1.521	0.254	0.443
0.75	0.12	0.75	0.12	3.0	16.85	1.641	0.503	0.322	0.666	0.190	0.286
0.84	0.21	1.80	0.28	2.5	20.97	1.896	0.291	0.406	0.455	0.181	0.302

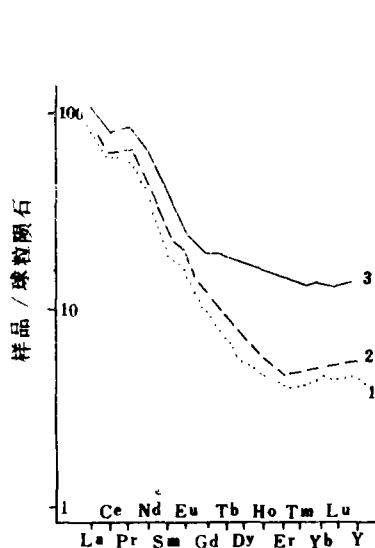


图2 铜官山侵入体稀土演化模式

Fig.2. REE evolutionary Model
of Tong Guanshan rock-body

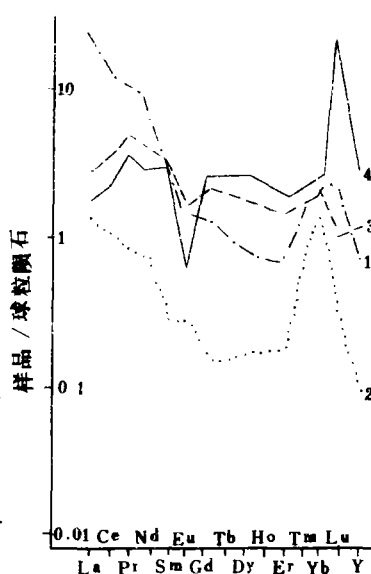


图3 蛇纹石岩稀土模式

Fig.3. REE model of
serpentine

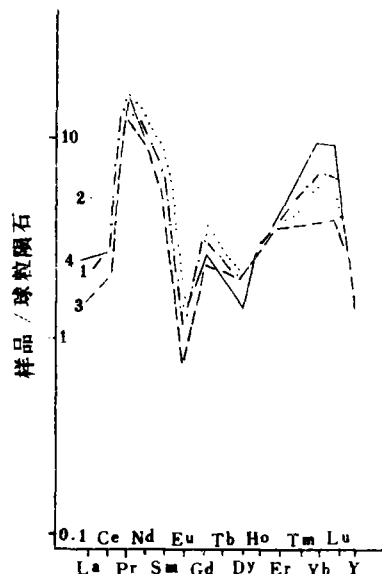


图4 磁铁矿稀土模式

Fig.4. REE model of
magnetite

不同阶段形成的矿石矿物稀土元素特征有较大的差异。磁铁矿是层状矿床中重要的金属矿物之一,特别是近侵入体黄龙组白云岩段蚀变岩石中更为富集并形成磁铁矿体。不同产状、不同围岩中的磁铁矿之稀土特征也不同。侵入岩中副矿物磁铁矿 Σ REE 最高(表4), $LREE/HREE = 9.578$, 属轻稀土富集型, 模式曲线与侵入体有相似之处(图4), 但具有较明显的弱 Eu、Ce 负异常。以岩浆水为主的热液作用形成的磁铁矿与其脉石矿物蛇纹石相比, 它们的 Σ REE、 $LREE/HREE$ 及 Eu 异常系数等均较相近, 但磁铁矿 Ce 负异常强度较低, 且 Er、Tm、Yb、Y 等含量也较低。它们是同阶段产物, 但它们容纳稀土的能力有差异。层状矿床中磁铁矿与接触带透辉石、石榴石矽卡岩磁铁矿相比, 前者具较高 Σ REE, 但 $LREE/HREE$ 、 δ Eu、 δ Ce 明显偏低。接触带富钙石榴石 Σ REE 较高, 特别是 HREE 较富集, 且具明显的 Eu、Ce 负异常, 所以磁铁矿 Σ REE 相应较低, 且具明显的正 Eu 异

表 4 磁铁矿稀土元素组成 (ppm) 及特征值

Table 4. REE composition (ppm) and characteristic value of magnetite

序号	样号	产状	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
1	WT291-1	侵入岩内	7.35	12.5	1.282	4.79	0.535	0.106	0.415	0.054	0.246	0.054
2	WT121-56	砂卡岩矿	0.418	0.985	0.099	0.443	0.055	0.021	0.049	0.008	0.052	0.013
3	WTSK-12	层状矿	0.893	3.16	0.613	2.33	0.637	0.116	0.651	0.099	0.545	0.114
4	d580-83	层状矿	0.559	2.03	0.420	1.62	0.553	0.042	0.759	0.129	0.795	0.160

Er	Tm	Yb	Lu	Y	Σ REE	LREE/HREE	Ce/Yb	La/Sm	La/Yb	δ Eu	δ Ce
0.145	0.044	0.4	0.065	1.35	29.334	9.578	6.316	8.586	18.376	0.723	0.790
0.038	0.024	0.257	0.008	0.166	2.636	3.286	0.774	4.750	1.626	1.328	0.983
0.292	0.054	0.379	0.031	2.27	12.184	1.747	1.685	0.876	2.356	0.601	0.851
0.392	0.071	0.5	0.683	4.19	12.903	0.680	0.820	0.631	1.118	0.220	0.823

常。由此可见,不同产状、不同脉石矿物组合的磁铁矿之稀土特征也不同。层状矿体中磁黄铁矿主要分布在透辉石、透闪石、蛇纹石、磁铁矿组合外侧,呈蛇纹石、磁黄铁矿组合形式产出,其 Σ REE、LREE/HREE 明显低于磁铁矿,但 δ Eu 却与磁铁矿相近(表 5)、(图 5),这与其晶格容纳稀土能力有关。黄铁矿在矿床中分布最广。不同产状、不同成因的黄铁矿稀土特征有较明显差异。远离矿区,赋存于船山组和黄龙组灰岩界面方铅矿、闪锌矿、黄铁矿组合中的黄铁矿 Σ REE 最低,且 Ce、Sm、Gd 等均在检测限以下, LREE/HREE 与围岩相近,表明它是渗滤循环大气降水萃取围岩物质于界面碎裂带中淀积而成;黄龙组成部砾岩中的沉积(成岩)黄铁矿 Σ REE 最高,且 LREE/HREE 比值、 δ Eu 值与底部砾岩相近,而明显区别于其它产状、成因的黄铁矿;层状矿体与接触带矿体的黄铁矿相比,由于先期形成的矿物组合有较大差异,特别是接触带富钙脉石矿物较发育,以致接触带矿体中黄铁矿 Σ REE、LREE/HREE 较低,这与接触带矿体中黄铁矿 Σ REE 较低是吻合的。将不同产状黄铁矿稀土数据作 Q 型聚类分析,接触带与层状矿体中磁铁矿较为相似,距离系数在 0.26 之内,没有出现分群现象,底部砾岩中黄铁矿距离系数为 0.57,表明它们的稀土来源和成因是有区别的;将黄铁矿稀土元素和其它微量元素作 R 型相关分析,揭示大部分稀土元素和微量元素关系并不密切,只有 Ni 与轻、中稀土,特别与 Sm、La、Ce 关系

表 5 金属硫化物稀土组成及特征值 (ppm)

Table 5. REE composition (ppm) and characteristic value of sulphide

矿物 元素 序 号	磁黄铁矿				黄铁矿				胶黄铁矿			黄铜矿				闪锌矿		方铅矿
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3
La	0.254	0.195	0.168	0.111	0.119	2.130	0.062	0.32	0.138	4.94	0.061	0.776	0.185	0.51	0.157	0.342	4.50	0.165
Ce	0.739	0.167	0.416	0.175	0	5.15	0.061	0.474	0.965	10.90	0.173	1.360	0.216	0.434	0	0.231	10.80	0
Pr	0.125	0.006	0.017	0.045	0.005	0.448	0.002	0.081		1.150		0.170	0.005	0.043	0.054	0.079	1.56	0.013
Nd	0.536	0.099	0.139	0.201	0.096	1.52	0.086	0.376	0.245	4.770	0.164	0.704	0.094	0.236	0.275	0.369	6.70	0.126
Sm	0.277	0	0.162	0.10	0	0.522	0	0.01	0.221	1.210	0.045	0.088	0.022	0	0	0.016	1.520	0
Eu	0.023	0.015	0.02	0.011	0.008	0.067	0.007	0.033	0.023	0.092	0.021	0.064	0.01	0.009	0.008	0.025	0.20	0.008
Gd	0.315	0.022	0.108	0.101	0	0.469	0.038	0.061	0.418	0.858	0.134	0.108	0.051	0	0.047	0.171	1.850	0.033
Tb	0.054	0.044	0.012	0.025	0.001	0.109	0.006	0.018	0.107	0.230		0.015	0.006	0	0.014	0.02	0.221	0.004
Dy	0.340	0.032	0.043	0.105	0.013	0.256	0.045	0.16	0.587	0.661	0.127	0.079	0.031	0.003	0.123	0.083	1.620	0.025
Ho	0.084	0.014	0.016	0.039	0.004	0.143	0.011	0.04	0.146	0.231		0.009	0.004	0.001	0.014	0.009	0.306	0.003
Er	0.249	0.055	0.059	0.097	0.01	0.021	0.029	0.018	0.388	0.454	0.088	0	0	0	0	0	0.737	0
Tm	0.049	0.013	0.007	0.011	0.022	0.023	0.025	0.05		0.034		0.008	0.017	0.011	0.005	0.014	0.212	0.013
Yb	0.365	0.097	0.017	0.07	0.001	0.325	0.272	0.502	0.418	0.332	0.228	0.085	0.205	0.121	0.053	0.162	0.641	0.143
Lu	0.04	0.005	0.004	0.012	0.003	0.041	0.006	0.054	0.046	0.033	0.009	0.0002	0	0	0	0	0.064	0
Y	2.0	0.155	0.084	0.590	0.126	0.130	0.130	1.04	4.55	4.62	0.478	0.396	0.045	0.117	0.343	0.337	9.28	0.115
ΣREE	5.45	0.878	1.272	1.993	0.385	12.438	0.781	3.337	8.252	30.515	1.528	3.862	0.896	1.485	1.093	1.859	40.251	0.648
LREE/HREE	0.558	1.214	2.634	0.898	1.449	3.782	0.378	0.633	0.239	3.094	0.436	4.515	1.495	4.863	0.824	1.332	1.688	0.928
δEu	0.262		0.473	0.364		0.445		3.663	0.26	0.29	0.876	2.224	0.998			1.084	0.403	
δCe	0.856	0.538	1.327	1.40		1.054	0.616	0.602		0.927		0.753	0.751	0.473		0.284	0.849	

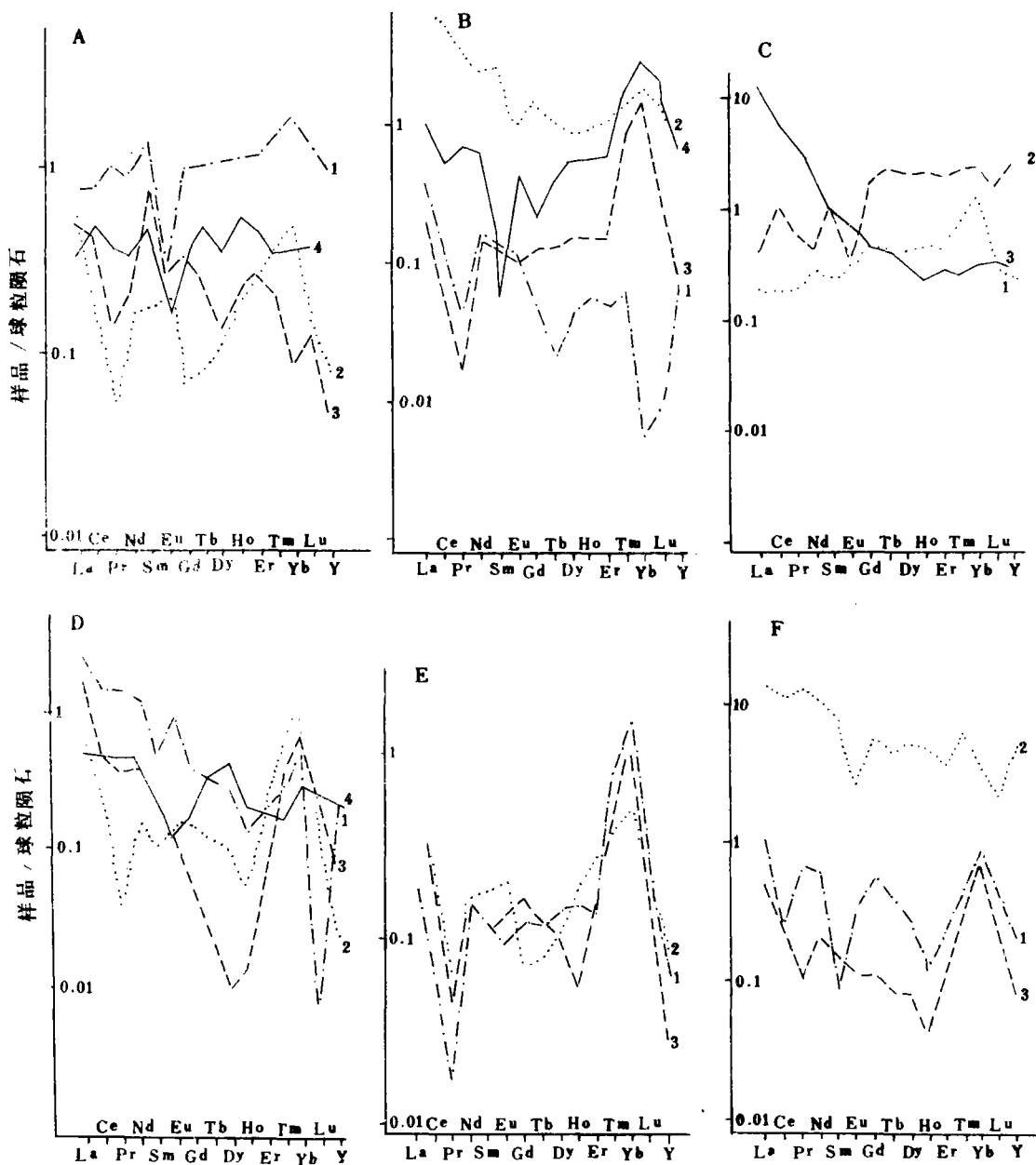


图5 金属硫化物稀土模式

Fig.5. REE model of sulphide

A—磁黄铁矿;B—黄铁矿;C—胶黄铁矿;D—黄铜矿;

E—黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿;F—闪锌矿、方铅矿

密切, Ti 与重稀土元素关系密切, 但密切程度不如前者, 这可能反映出黄铁矿与侵入体之间的某些联系。大气水渗滤作用形成的胶黄铁矿常混有不等量的杂质, 如菱铁矿、粘土及、钙镁碳酸盐等矿物, 且较富集 Cu、Pb、Zn、Co、Mn、Au 等, 其 ΣREE 、 LREE/HREE 、 δEu 、 δCe 等均变化较大。这种变化大小取决于它们的杂质成分, 含钙高者, ΣREE 也高, 同时, 也与成矿时期和产状有关。蚀变岩体中浸染状黄铜矿 ΣREE 较其它产状黄铜矿高, 但 LREE/HREE 比值与下伏角岩中的脉状矿体黄铜矿相近, 均属轻稀土富集型, 且具有明显的正 Eu 异常; 接触带矿体中黄铜矿, 与磁铁矿、黄铁矿一样, ΣREE 明显低于层状矿体及其它产状中的黄铜矿。接触带矿体黄铜矿与相共生的磁黄铁矿、黄铁矿的模式曲线极其相似, La、Yb 等均显峰值, 表明它们是同阶段成矿作用形成的。常与黄铁矿(胶黄铁矿)共生的闪锌矿、方铅矿在矿区内虽不构成重要矿体, 但在矿区边部或矿区外, 矿化却普遍存在。二者 ΣREE 、 δEu 、 δCe 等均变化较大, 特别是 $\text{H}\Sigma\text{REE}$ 变化较大, 方铅矿 ΣREE 值较低。它们均是低温的渗滤循环大气水为主的热液作用产物。菱铁矿常与黄铁矿(胶黄铁矿)、闪锌矿、方铅矿共生, 并构成菱铁矿体。菱铁矿石与单矿物菱铁矿含 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 MnO 、 MgO 、 CO_2 等均较相近, 但前者 SiO_2 、 CaO 均比后者高, 表明菱铁矿石除菱铁矿外, 尚有一定量的杂质, 如硅质和钙碳酸盐。菱铁矿 ΣREE 、 LREE/HREE 、 δEu 等均变化较大(表 6)、(图 6), 这与其所含杂质多少有关, 含钙碳酸盐杂质多, 则 ΣREE 、 LREE/HREE 也高。

表 6 菱铁矿稀土组成 (ppm) 及特征值

Table 6. REE composition (ppm) and characteristic value of sidrite

序号	样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
1	04-14	0.407	1.54	0.256	1.02	0.351	0.12	0.328	0.048	0.255	0.076
2	WT131-79	1.79	3.25	0.324	1.27	0.425	0.895	0.392	0.056	0.292	0.074
3	SHUN-2	3.76	12.7	2.125	7.89	1.55	0.095	1.52	0.211	1.04	0.251

Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE/HREE	Ce/Yb	La/Sm	La/Yb	δEu	δCe
0.255	0.05	0.363	0.034	2.83	7.953	0.876	0.857	0.760	1.176	1.168	0.944
0.222	0.043	0.306	0.029	1.88	11.221	2.434	2.146	2.632	5.847	7.234	0.833
0.736	0.125	0.834	0.139	7.95	40.926	2.195	3.077	1.516	4.508	0.205	0.917

综上所述并结合同位素资料, 可以看出不同成因、产状和成矿阶段形成的不同岩石、矿物的稀土特征有明显差异。侵入岩含稀土最高, 而黄龙组碳酸盐岩较低。碳酸盐岩, 特别是白云岩, 在热变质作用和以岩浆水为主的热液蚀变作用下(350°C – 400°C), 形成的白云质大理岩和蛇纹石岩稀土含量均有较大的增高, 同期热液作用形成的磁铁矿较侵入体副矿物磁铁矿含稀土低, 但较接触带磁铁矿高, 稍晚阶段形成的磁黄铁矿较磁铁矿含稀土低; 在混合水热液作用下(250°C – 300°C)形成的黄铁矿、黄铜矿含稀土较低, 但沉积(成岩)作用形成的底部

砾岩中的黄铁矿含稀土则较高;以渗滤循环大气水为主的热液作用下(200℃以下)形成的低温矿物组合,如菱铁矿、胶黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等,稀土含量均变化较大。金属矿物稀土含量具有磁铁矿>磁黄铁矿>黄铜矿>黄铁矿>方铅矿的变化趋势。

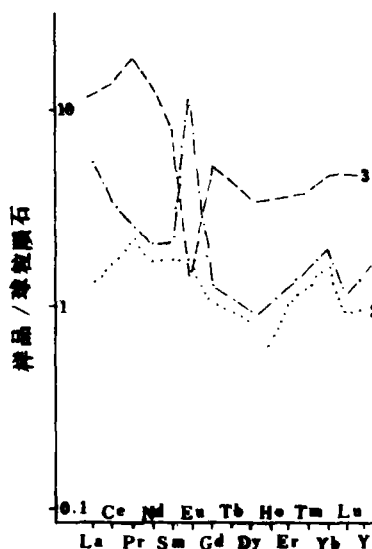


图6 菱铁矿稀土模式

Fig.6. REE model of sidrite

三、矿床成因讨论

区内矿床呈聚集状成带成群产出。矿床的产出部位常伴有规模不大的岩株状侵入体。赋存于三叠纪、二叠纪、石炭纪、泥盆纪及志留纪地层中的矿床常共生一处或附近。在同一个矿床内,侵入体内的细脉侵染状矿化或矿体、接触带矽卡岩型矿体与层状矿体也常共生,构成“多位一体”。燕山期岩浆侵入、喷出活动,通过热传递,使得侵入体四周渗滤循环古大气水受热,并形成一个以侵入体为中心的地热晕圈。这个晕圈在矿床中常以蚀变分带、矿物组合、元素分带及同位素的规律性变化形式表现出来。区域地层资料已证明处于相对稳定的晚石炭世碳酸盐沉积(成岩)阶段并没有大量硫化物富集,但在其下伏地层,如志留系、泥盆系、下石炭统,及上覆地层,如二叠系上统、三叠系上统碎屑岩沉积建造中,成矿元素 Cu、Pb、Zn、Fe 等均较富。资料证明,区内基底,特别是早元古代优地槽体系中的深、中变质岩是重要的矿源之一。历次的造山运动,特别是燕山期岩浆侵入、喷出活动以及受热的渗滤循环大气水,既能使上地幔、下部地壳、基底岩石及盖层岩石中的成矿元素活化、转移,又能使上覆三叠纪地层中的丰富膏盐发生溶解、淋滤,提供丰富的 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等离子,形成高盐度的热水溶液,从而提高了热液对流经地层,岩石中的成矿元素的萃取的迁移能力。然而,成矿溶液只有在有利空间和适宜的物理、化学条件下才得以聚集和富集成矿。笔者认为,区内金属硫化物矿床应归属“热液”型矿床。

参考文献

- [1] 王道华等,1987, 长江中下游区域铜、金、铁、硫矿床基本特征及成矿规律. 地质出版社.
- [2] 翁世劫等,1981, 长江下游构造作用与岩浆活动. 南京地质矿产研究所所刊,第二卷,第三号.
- [3] Wolf, k.H., 1978, 层控矿床和层状矿床. 地质出版社, 第一卷,第五卷,第六卷.
- [4] 陈宏明等,1987, 下扬子盆地石炭系沉积地质及有关矿产. 南京地质矿产研究所所刊, 增刊, 第四号.
- [5] 涂光炽等,1984. 地球化学,上海科技出版社.

REE GEOCHEMISTRY OF CARBONIFEROUS STRATIFIED METALL-SULPHIDE DEPOSITS IN TONGLING DISTRICT

Fu Dexing Zhou Huaping

(IGMR, Nanjing)

Abstract

Tongling district is an important metall-sulphide ore-forming area in lower and middle Yangtze River ore-forming belt. During Late-Jurassic, high-alkaline potassium-rich neutral and neutro-acidic intrusions of syntectic type mainly in form of stocks intruded in carbonates of Carboniferous-Triassic formations. The chief ore-occurring strata of metall-sulphide orebodies are dolomite horizons which overly on fragments. The mineral association of stratified orebodies bears clear vertical and horizontal zonation.

Σ REE, LREE and HREE of intrusive rocks decrease with increasing of their basic degree, while the LREE/HREE varies inversely. Between the Σ REE and LREE/HREE there is shown an evident negative correlation. The REE of carbonatites of different sedimentary facies change regularly, that is, when the sedimentary environment change from shallow to deep and again to shallow, the Σ REE vary from low to high and again to

low. In carbonatites the ratio of ΣREE to $\text{LREE} / \text{HREE}$ shows a positive correlation $\text{LREE} / \text{HREE} = 0.024 \Sigma\text{REE} + 1.850$, correlation coefficient $r = 0.9581$ and $\text{LREE} / \text{HREE}$ changes in a narrow range with the increasing of ΣREE , indicating the relatively stable distribution of LREE and HREE in carbonatites. When thermometamorphosed, limestones and dolomites behave different REE geochemistry characteristics. Dolomites are transformed into dolomitic marbles, and the REE in them are over 4 times more than that in dolomites, while the REE of limestones have no change.

In the stratified orebodies, the ΣREE , $\text{LREE} / \text{HREE}$ and Eu abnormal coefficients for magnetites and gangue mineral taxoites are close each to other, but the Ce negative anomaly of magnetites is inferior to that of taxoites, moreover, Er, Tm, Yb, Y and so on in magnetites are obviously low. The ΣREE magnetites in orebodies occurred in contact zones are relatively low with evident Eu positive anomaly and no or weak negative anomaly of Ce, which is concerned with the rich REE in the gangue minerals—garnets.

The REE of pyrites occurred in different parts are of obviously different characteristic. In the cataclastic zone of C_2^4 — C_2^5 stratigraphic boundary surface, the pyrites which were formed in the hydrothermal process of atmospheric circulation infiltration water have the lowest ΣREE , and their Ce, Sm and Gd are all beyond the limit of determination; the pyrites which were formed in sedimentation (diagenesis) of conglomerate of the basal bed of Huanglong formation have higher ΣREE , and the values of $\text{LREE} / \text{HREE}$ and δEu are close to that of the rocks of the same horizon; the pyrites occurred in stratified orebodies and orebodies in contact zones have evident Ce negative anomaly, in addition to a higher content of Co and Ni and $\text{Co} / \text{Ni} > 1$, however, the ΣREE differ evidently because of different association of the gangue minerals.

Chalcopyrites have different ΣREE when in different occurrence and different mineral association. Their highest ΣREE are shown in altered intrusives, of contact zones, while the lowest ΣREE in the orebodies. The characteristic values of REE of siderites, sphalerites, galenites, melnikovites, etc, which are formed in the hydrothermal process of atmospheric circulation infiltration water, vary over a large range, especially when siderites and melnikovites unequally contain calcium impurities, such as calcites and dolomites.

The above mentioned data bring it to light that the ore-forming thermal solutions of different occurrence, composition and source must form different mineral association and have different REE content and characteristics in different ore-forming stage depending on different composition of wall rocks where the ore-forming thermal solutions run through.

Key words Stratified metall-sulphide deposits, REE, Carboniferous, Tongling