从银厂坡矿床的 C、O 同位素关系来看（图 6.7B），白云岩的 $\delta^{13}C_{PDB}$ 与 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 值落入海相碳酸盐岩和加拿大 Nova scotla Pb-Zn 矿床范围，方解石的 $\delta^{13}C_{PDB}$ 与 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 值落入海相碳酸盐岩溶解区域。这也说明方解石 C、O 主要继承围岩特征。从图中还可看出，矿床的 $\delta^{13}C_{PDB}$、$\delta^{18}O_{SMOW}$ 组成不同于沉积有机物、花岗岩、火成碳酸盐和地幔包体、基性超基性岩浆岩及峨眉山玄武岩，也不同于有机氧化作用和结晶分异作用形成的岩石的 $\delta^{13}C_{PDB}$、$\delta^{18}O_{SMOW}$ 组成。

第二节 微量元素特征

6.2.1 稀土元素地球化学

稀土元素是微量元素中一组地球化学性质极其相似的元素，这种性质导致它们在地质地球化学过程中常常以一个整体迁移，但不同的稀土元素之间性质仍有微小差异，有时便成为成矿环境与成矿物质来源良好的示踪剂。稀土元素中以铕和铈最为重要，因为所有稀土元素均呈三价，但 Eu 同时又具二价态，Ce，Tb 有四价态， Eu、Ce 的这种特性使 δ Eu、δ Ce 成为判别地质地球化学过程中成矿物质来源、氧化与还原条件（Drake and weill,1975）的重要参数。

本文对围岩、蚀变岩、氧化矿石、硫化矿石、脉石矿物中的方解石和峨眉山玄武岩的稀土元素进行了分析，见表 6.5，并用球粒陨石值（Boynton,1984）标准化。

①矿石、围岩及蚀变岩

分别采自矿体的顶底板及夹在中间的弱蚀变碎裂状白云岩和矿石。它们的稀土元素具以下特征： δ Eu<1, 介于 0.562～0.981。 δ Ce<1, 介于 0.68～0.986。$(La/Sm)_N$ 介于 2.063～3.163 配分曲线明显向右倾斜，$(La/Yb)_N$ 介于 3.027～9.661， LREE/HREE 变化于 2.894～8.364。ΣREE 含量范围介于 0.709～2.969×10^{-6}。富集轻稀土为特征。从剖面上的稀土元素的配分模式上可以看出，围岩、弱蚀变白云岩、矿石的稀土元素配分模式相似，可能在一定程度上说明矿石、蚀变岩与围岩的稀土元素在成矿流体的水岩反应中，表现了一定的继承性，围岩能提供一定的成矿物质，稀土元素配分模式图见图 6.8。

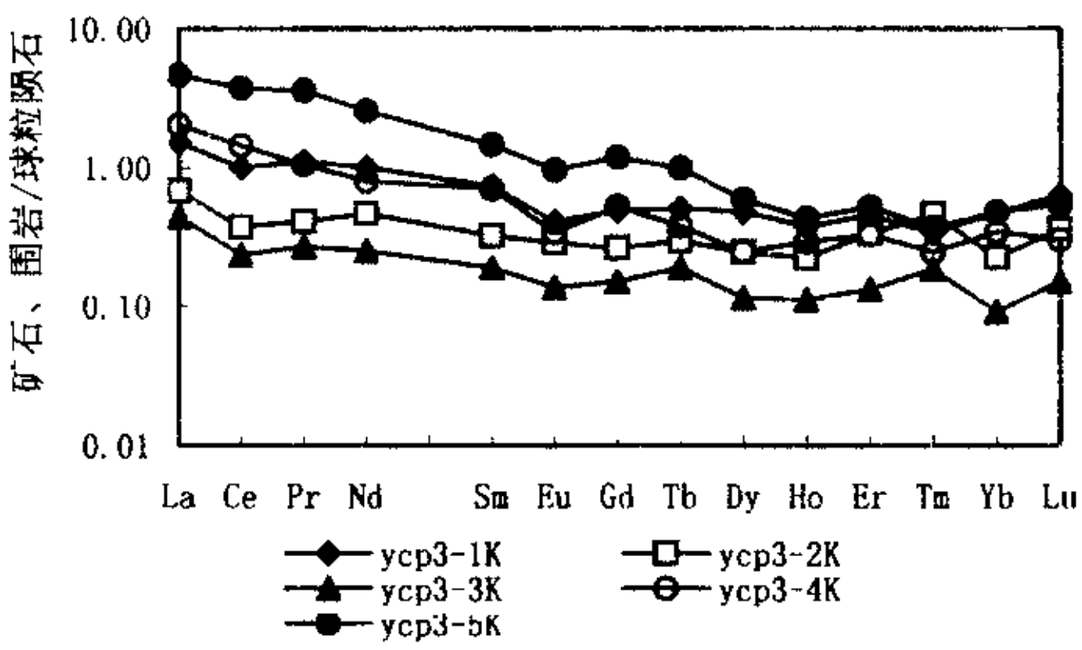


图6.8 围岩、蚀变岩、矿石稀土元素配分模式图

②地表蚀变岩

地表蚀变岩的轻稀土内部分馏较为明显，$(La/Sm)_N$介于1.995～3.388 。整体曲线表现为向右倾斜的特点，见图6.9。$(La/Yb)_N$大于1，介于3.869～9.443。Eu弱负异常，δEu介于0.703～0.961。Ce为中等至弱负异常， δCe介于0.567～0.980。LREE/HREE比值变化于4.079～7.882之间，富集轻稀土。ΣREE介于1.323～16.792×10^{-6}。地表蚀变岩的稀土配分曲线与矿石、围岩及蚀变岩有一定的相似性，表明地表的风化淋滤对整体稀土模式的影响不大，只是在量上有所变化。在地表蚀变岩中，稀土总量明显高于矿体及两侧的近矿蚀变岩与围岩。

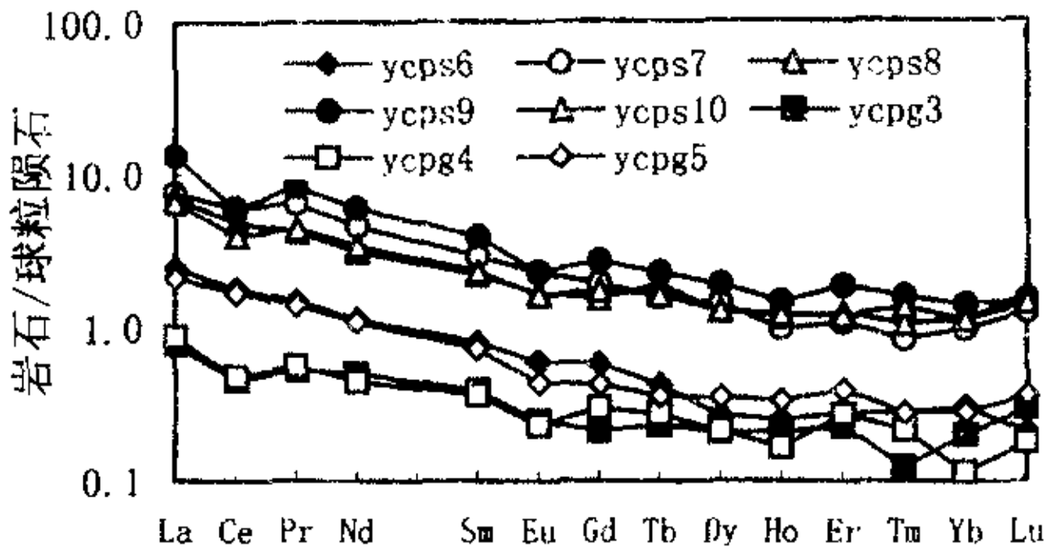


图6.9 地表蚀变岩稀土元素配分模式图

③硫化矿石

硫化矿石的稀土元素配分模式见图6.10，轻稀土内部分馏较为明显，$(La/Sm)_N$ 介于 0.978～2.859。整体曲线表现为向右倾斜的特点，$(La/Yb)_N$ 大于 1，介于 3.146～11.237。Eu 负异常较明显，δEu 介于 0.307～0.657。δ Ce 介于 0.117～0.821 。LREE/HREE 比值变化于 2.382～5.644 之间。ΣREE 介于 0.115～0.743×10^{-6}，显然，稀土元素总量比蚀变岩及碎裂白云岩型矿石要低得多，但其配分曲线仍与地表蚀变岩、矿体两侧的弱蚀变岩及围岩相似，反映了硫化矿石稀土元素配分模式继承围岩 REE 模式的特点。

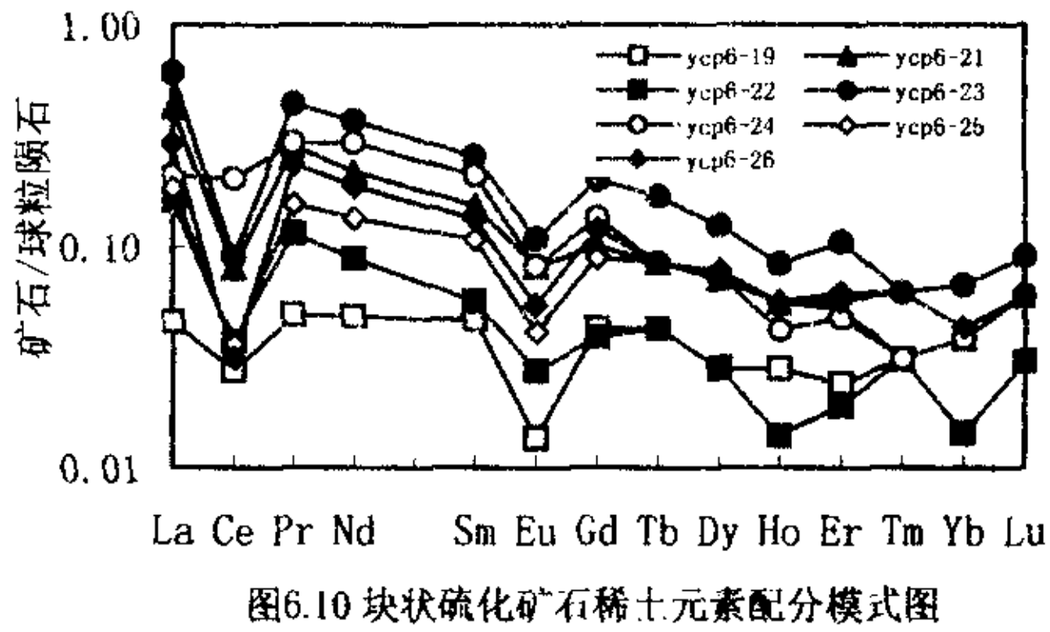


图6.10 块状硫化矿石稀土元素配分模式图

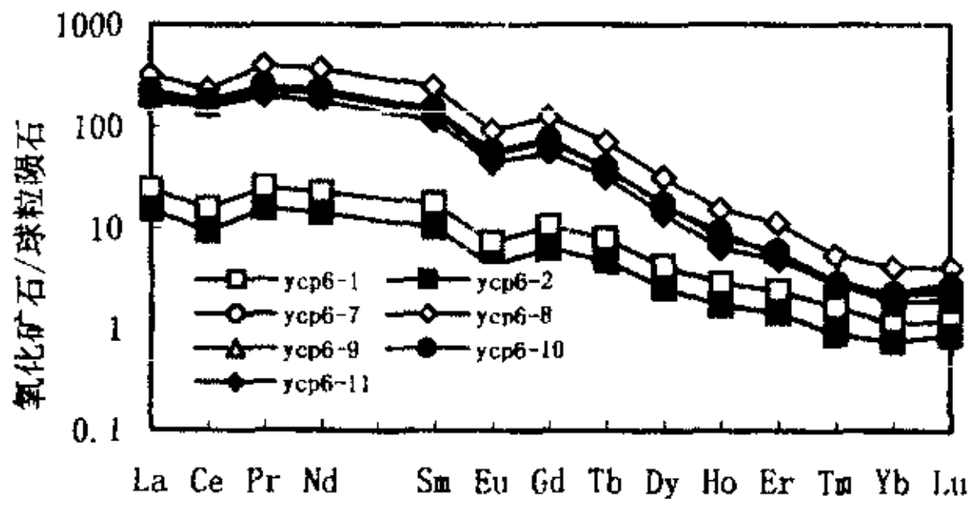


图6.11 氧化矿石球粒陨石配分模式图

④氧化矿石

氧化矿石稀土元素配分模式图表明(图6.11)，Eu负异常，δEu

介于0.526～0.555。δCe介于0.611～0.843。$(La/Sm)_N$介于1.304～1.571。整体曲线表现为向右倾斜的特点，$(La/Yb)_N$大于1，介于20.226～121.821。LREE/HREE比值变化于7.443～15.148之间。ΣREE介于28.348～659.523×10^{-6}。氧化矿石的稀土配分曲线表现为相互平行的一组δEu、δCe负异常的富集轻稀土的右倾较的陡谐和曲线组。

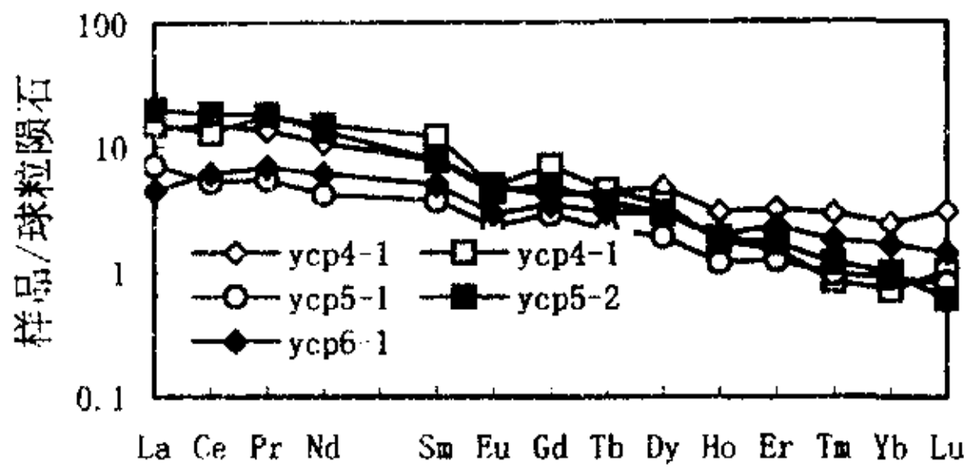


图 6.12 方解石球粒陨石稀土元素配分模式图

⑤方解石的稀土元素

采自矿体、蚀变岩中和摆佐组地层中的团块状方解石的稀土元素组成有如下特征。δEu 介于 0.529～0.879,Eu 中等至弱负异常。δCe 介于 0.789～1.106，弱负异常。$(La/Sm)_N$ 除一个样品为 0.893，其余均大于 >1,主要介于 1.252～2.554，整体曲线表现为向右倾斜的特点，$(La/Yb)_N$ 大于 1，介于 2.693～21.120。LREE/HREE 比值变化于 3.961～10.633 之间，轻稀土富集。ΣREE 介于 12.549～36.26×10^{-6}。方解石稀土元素的配分模式与矿石、围岩、蚀变岩较大的差别，Eu 呈负异常，而 Ce 基本不显负异常，而其配分模式见图 6.12。

⑥峨眉山玄武岩

峨眉山玄武岩配分模式见图 6.13。Eu 微弱负异常，δEu 介于 0.857～0.950。Ce 无异常，δCe 介于 0.995～1.036 之间。整体曲线表现为向右倾斜的特点，$(La/Sm)_N$ 主要介于 2.042～2.544。$(La/Yb)_N$ 介于 4.329～8.439。LREE/HREE 比值变化于 4.388～7.206 之间，轻度富集轻稀土。ΣREE 介于 120.452～286.749×10^{-6}，与球粒陨石稀土组成一致。

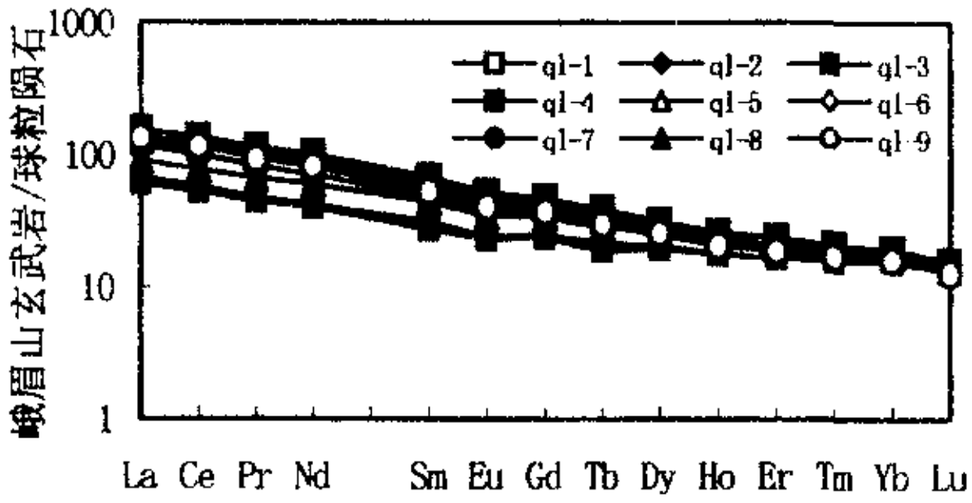


图6.13 矿区峨眉山玄武岩球粒陨石配分模式图

总之，稀土元素的配分模式表明，围岩、矿石及地表蚀变岩型白云岩的稀土配分与白云岩型矿石及其两侧的围岩具相似配分模式，均呈较弱的 Eu 和 Ce 负异常，呈“W”型；但硫化矿石和氧化矿石呈明显的 Eu 和 Ce 负异常；方解石与矿区的峨眉山玄武岩、围岩及矿石的稀土元素配分模式不同，为成矿流体与围岩相互作用的结果。稀土总量表现为氧化矿石最高，围岩与硫化矿石的稀土总量最低。

(2)稀土元素的$(La/Yb)_N$～REE、$(La/Yb)_N$～δEu、δCe～δEu关系

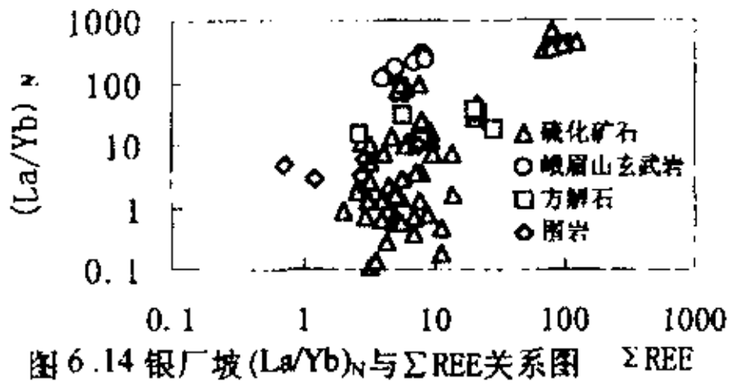


图 6.14 银厂坡$(La/Yb)_N$与ΣREE关系图

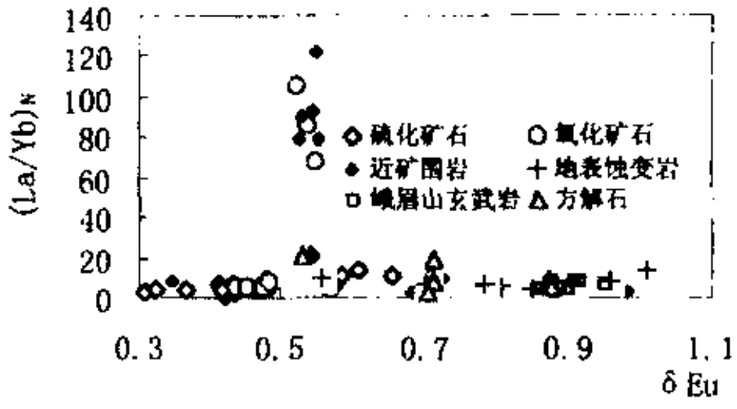


图 6.15 银厂坡(La/Yb)N与δEu关系图

$(La/Yb)_N$～ΣREE：$(La/Yb)_N$～ΣREE 表示 LREE、HREE 的分馏程度与稀土元素总量关系。从围岩、方解石和峨眉山玄武岩的 $(La/Yb)_N$～ΣREE 关系来看（图 6.14），轻重稀土元素的分馏程度与稀土元素总量的变化无关，但部分矿石的轻重稀土元素的分馏程度随稀土元素总量增加而增大（图 6.14），说明矿石中的稀土元素与峨眉山玄武岩及赋矿围岩有不同来源。

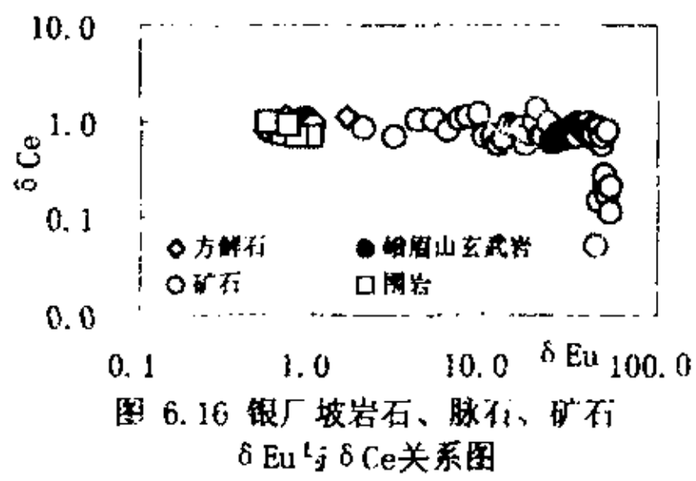


图 6.16 银厂坡岩石、脉石、矿石δEu与δCe关系图

$(La/Yb)_N$～δEu：从图 6.15 来看，部分氧化矿石、硫化矿石及近矿围岩在δEu 为 0.5 左右时，REE 发生了较大的分馏，这可能显示稀土元素分馏在还原环境下的水岩反应界面发生了一定程度的分离。还可看出，矿石与峨眉山玄武岩的δEu 分布范围明显不同，矿石中这种亏损的 Eu 显然不是继承峨眉山玄武岩源区特征，可以排除稀土元素来自峨眉山玄武岩。

δCe～δEu：Eu 在还原条件下以 Eu^{2+}形式存在，与其它稀土元素发生分馏；在氧化条件下以 Eu^{3+}形式存在，与其它稀土元素不发生分馏(王中刚等，1989)。银厂坡矿区围岩、矿石及方解石的δEu 均小于 1，说明成矿流体主期应为相对还原环境，稀土元素的分馏不明显，Eu 以 Eu^{2+}的形式进入围岩，使 Eu 呈负异常。矿石中δEu 值可分为两组：一组为硫化矿石，其δEu<0.5（除一个样品外）；另一组为氧化矿石，其δEu 介于 0.5～0.6 之间。两类矿石的δEu 均小于围岩及方解石，均为负异常。除峨眉山玄武岩外，矿石、围岩及脉石矿物中的 Ce 均为亏损。Ce 的亏损强度在不同大地构造环境各不相同（Shimizu 等, 1977;Murray 等，1990，1993），部分矿石中 Ce 亏损强度明显大于围岩及脉石矿物的 Ce 亏损，显示这部分矿石中的 Ce 继承了亏损源区的 Ce 组成的特征。氧化矿石及脉石矿物的δCe>0.7，Ce 亦为轻度亏损，这种亏损源区即为摆佐组赋矿碳酸盐岩。

δCe～δEu 关系表明（见 6.16 图），部分矿石的 δCe 随 δEu 增加而降低，说明成矿作用的后期矿石中加入了亏损 Ce 源区的流体，这种流体与围岩、矿石及峨眉山玄武岩不同，可能为其它源区带来。

6.2.2 地层中微量元素丰度及富集系数

表 6.7 银厂坡石炭系摆佐组碳酸盐岩微量元素特征表

	Ag	Cu	Pb	Zn	Cd	Th	U	Ba	Hf	Ta	W
YCP-1	250	3.80	36	25	0.36	0.03	0.14	9.72	0.01	0.01	1.05
YCP-2	190	1.90	23	18	3.56	0.01	0.61	23.65	0.00	0.00	0.61
YCP-3	110	2.90	25	23	3.30	0.01	0.44	22.21	0.01	0.01	0.08
YCP-4	110	1.60	45	46	0.63	0.21	0.30	24.21	0.08	0.03	0.80
YCP-5	245	22.90	27	30	1.01	0.09	0.30	8.11	0.02	0.01	0.18
平均值	181	6.62	31	28	1.77	0.07	0.36	17.58	0.02	0.01	0.54
克拉克值	0.07	55.0	12.5	70.0	0.2	9.6	2.7	425.0	3.0	2.0	1.5
	3.571	0.069	2.880	0.357	1.810	0.003	0.051	0.023	0.002	0.005	0.699
富	2.714	0.035	1.840	0.257	17.775	0.001	0.227	0.056	0.001	0.002	0.407
集	1.571	0.053	2.000	0.329	16.495	0.001	0.162	0.052	0.002	0.004	0.050
系	1.571	0.029	3.600	0.657	3.155	0.022	0.112	0.057	0.025	0.016	0.531
数	3.500	0.416	2.160	0.429	5.025	0.009	0.109	0.019	0.007	0.006	0.121
	2.586	0.120	2.496	0.406	8.852	0.007	0.132	0.041	0.008	0.007	0.362
最大值	3.571	0.416	3.600	0.657	17.775	0.022	0.227	0.057	0.025	0.016	0.699
最小值	1.571	0.029	1.840	0.257	1.810	0.001	0.051	0.019	0.001	0.002	0.050
平均值	2.586	0.120	2.496	0.406	8.852	0.007	0.132	0.041	0.008	0.007	0.362

	V	Cr	Co	Ni	Ga	Ge	Y	Zr	Nb	Mo	In	Cs
YCP-1	1.02	20.86	0.88	11.21	0.04	0.33	1.53	0.27	0.04	0.31	0.04	0.12
YCP-2	0.59	16.92	0.35	9.03	0.09	0.23	0.89	0.13	0.16	0.39	0.03	0.02
YCP-3	0.28	6.18	0.17	3.85	0.11	0.21	0.50	0.09	0.01	0.26	0.05	0.01
YCP-4	2.45	27.26	1.04	12.50	0.43	0.44	1.06	2.05	0.15	0.23	0.02	0.92
YCP-5	0.77	34.54	1.07	18.70	0.17	0.41	1.98	0.76	0.11	0.22	0.02	0.46
平均值	1.02	21.15	0.70	11.06	0.17	0.32	1.19	0.66	0.09	0.28	0.03	0.31
克拉克值	135	100.0	25.0	75.0	15.0	1.5	33.0	165.0	20.0	1.5	0.1	3.0
	0.008	0.209	0.035	0.149	0.003	0.222	0.046	0.002	0.002	0.20	0.41	0.039
富	0.004	0.169	0.014	0.120	0.006	0.151	0.027	0.001	0.008	0.26	0.25	0.007
集	0.002	0.062	0.007	0.051	0.007	0.137	0.015	0.001	0.000	0.18	0.50	0.003
系	0.018	0.273	0.041	0.167	0.029	0.293	0.032	0.012	0.007	0.15	0.19	0.305
数	0.006	0.345	0.043	0.249	0.011	0.273	0.060	0.005	0.006	0.15	0.15	0.154
	0.008	0.212	0.028	0.147	0.011	0.215	0.036	0.004	0.005	0.19	0.30	0.102
最大值	0.018	0.35	0.043	0.249	0.029	0.293	0.060	0.012	0.008	0.26	0.50	0.305
最小值	0.002	0.06	0.007	0.051	0.003	0.137	0.015	0.001	0.000	0.15	0.15	0.003
平均值	0.008	0.21	0.028	0.147	0.011	0.215	0.036	0.004	0.005	0.19	0.30	0.102

（Ag 为 $\times 10^{-9}$，其余元素为 $\times 10^{-6}$，克拉克值据维诺格拉多夫，1962）

对石炭系摆佐组地层中的 Cd、Ba、Hf、Ta、W、Th、U、Ag、Cu、Pb、Zn、V、Cr、Co、Ni、Ga、Ge、Y、Zr、Nb、Mo、In、Cs 中的微量元素进行富集系数的分析，

表明(表 6.7)，富集系数大于 1 有亲硫元素 Ag、Pb、Cd，其余微量元素富集系数均小于 1，见图 6.17,6.18。区内摆佐组白云岩 Ag 的平均品位为 0.3g/t，是地壳克拉克值的 4.3 倍，因而，摆佐组地层可能为提供成矿物质的物质的源区之一。

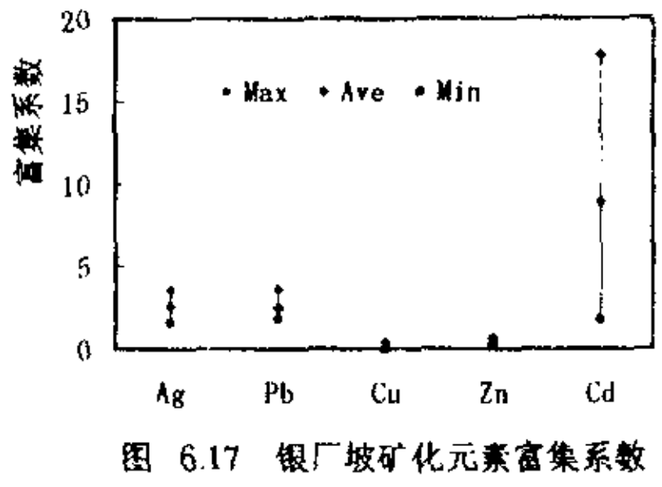


图 6.17 银厂坡矿化元素富集系数

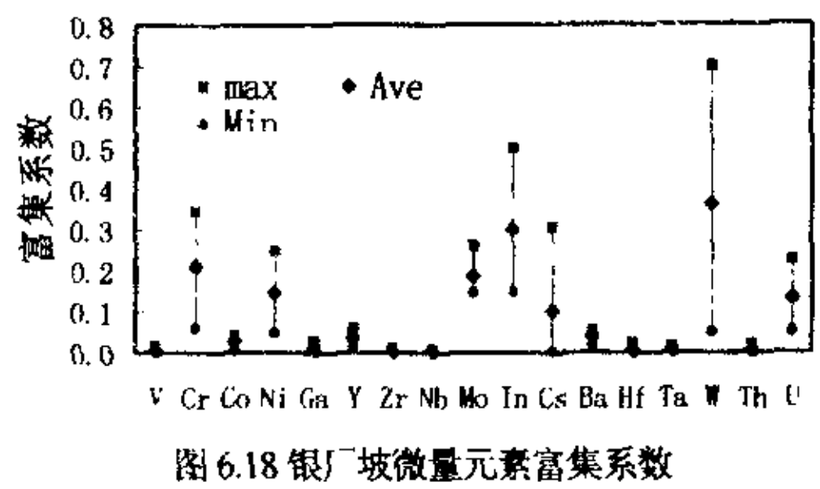


图 6.18 银厂坡微量元素富集系数

第三节 成矿物质来源

银厂坡矿床主要金属元素为 Pb、Zn、Ag，银主要赋存在方铅矿中，且 Ag 与 Pb 具有类似的地球化学性质，在一定程度上也表现出成矿作用中有共同的地球化学行为，这一点可从许多 Pb、Zn 矿床中均有 Ag 的矿化或矿体这一事实得以证实。故 Pb 同位素的特征不仅可以示踪 Pb 的来源，同时也能示踪 Ag 的来源。

Pb 同位素表明，铅有多来源特征，既有地层铅又有外来铅，显示为低放射性成因与放射性成因铅的混合铅特征，这种混合铅主要源于上地壳；S 同位素组成显示成矿的硫主要源于石炭系摆佐组地层；Sr 同位素特征表明，成矿流体曾流经富放射性成因 Sr 的源区，这种源区与富放射性成因 Sr 的区域古老基底岩系—昆阳群（会理群）有关。

从赋矿围岩的微量元素的特征来看，赋矿地层石炭系摆佐组 Ag 含量高于地壳克拉克值，而且与硫化物同期共生的方解石的 C、O 同位素组成落入赋矿摆佐组白云岩的溶解，这说明围岩在成矿过程提供了一定的成矿物质。

尽管区域上峨眉山玄武岩与该矿床空间上有密切共生关系，但从 Pb、Sr、S、C、O 同位素的特征来看，峨眉山玄武岩提供成矿物源的可能性不大。

综上所述，成矿金属组分有多来源性，前震旦纪昆阳群（会理群）基底及赋矿围岩（摆佐组白云岩）可能为主要的成矿物质提供者，但由于成矿作用的多期多阶段性，富含成矿物质的流体在上升途中，不可避免地和其它地层发生物质交换，因而，夹在基底与赋矿围岩间的地层提供少量的成矿物质是可能的。