

文章编号:0258-7106 (2003) 02-0199-09

云南会泽超大型铅锌矿床构造带方解石 稀土元素地球化学*

黄智龙¹ 李文博¹ 陈进² 吴静³ 韩润生^{1,3} 刘丛强¹

(1 中国科学院地球化学研究所矿床开放室, 贵州 贵阳 550002; 2 云南会泽铅锌矿, 云南 会泽 654211;

3 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要 云南会泽超大型铅锌矿床明显受北东向构造带控制, 构造带中的脉状方解石为富碳酸盐流体活动的产物。文章通过对这种脉状方解石的稀土元素地球化学研究, 探讨构造流体的来源及其与成矿流体的关系。结果显示, 矿区北东向构造带中脉状方解石的稀土含量范围较宽($\Sigma\text{REE}: 5.471 \times 10^{-6} \sim 56.788 \times 10^{-6}$), 稀土配分模式为相似的轻稀土富集型、存在较强的铈负异常($\delta\text{Eu}: 0.439 \sim 0.742$)。结合地层、矿石中脉石矿物方解石、峨眉山玄武岩的稀土元素含量和碳、氧同位素组成, 认为控矿构造带中方解石稀土为同源构造流体的结晶产物, 构造流体稀土元素地球化学特征明显受成矿流体的控制。

关键词 地球化学 构造带方解石 稀土元素 会泽铅锌矿床**中图分类号**: P618.42; P618.43**文献标识码**: A

位于扬子板块西缘的川滇黔铅-锌-银多金属成矿区是我国重要的铅、锌、银、锗生产基地, 目前已在该成矿区中发现铅锌矿床、矿点和矿化点 400 多个(柳贺昌等, 1999)。云南会泽超大型铅锌矿床位于该成矿区的中南部, 该矿床以其铅锌品位特高($w_{\text{Pb}} + w_{\text{Zn}}$ 多在 25% ~ 35%, 部分矿石 $w_{\text{Pb}} + w_{\text{Zn}}$ 超过 60%)、伴生有用元素多(Ag、Ge、Cd、In、Ga 等)及近年在找矿方面取得重大突破而引起国内外地学界的极大关注。许多学者从矿床地质(柳贺昌等, 1999; 高德荣, 2000; 陈进等, 2001; Han et al., 2003)、构造控矿(韩润生等, 2000; 2001a; 2001b)、成矿物质和成矿流体来源(柳贺昌等, 1999; Zhou et al., 2001; 黄智龙等, 2001a)和成矿预测(高德荣, 2000; 陈进等, 2001; 韩润生等, 2001a; 2001b; 2001c)等方面对该矿床做过研究工作, 由于不同学者对矿床成矿物质和成矿流体来源有不同的认识, 目前对矿床成因还存在较多争论。

众多研究表明(Evans et al, 1995; Parry, 1998; Polliand et al, 1999; 韩润生等, 2000), 控矿构造带中的流体(构造流体)地球化学对探讨成矿流体来源

与演化具有重要意义。会泽铅锌矿床明显受矿区 NE 向构造带控制(韩润生等, 2000; 2001a; 2001b), 构造带中的脉状方解石为富含碳酸盐构造流体的结晶产物, 因而该组构造带中的方解石可提供成矿流体来源与演化方面的重要信息。本文在分析会泽铅锌矿床 NE 向构造带方解石稀土元素含量的基础上, 结合矿区地层、峨眉山玄武岩和矿石中脉石矿物方解石稀土元素地球化学及碳、氧同位素组成资料, 探讨了构造流体的来源及其与成矿流体的关系。

1 地质特征

云南会泽超大型铅锌矿床位于川滇黔铅-锌-银多金属成矿区的中南部(图 1), 小江深断裂带和昭通-曲靖隐伏深断裂带间的北东向构造带、南北向构造带及北西向紫云-垭都构造带的构造复合部位。矿区出露地层见图 1, 其中下石炭统摆佐组(C_1b)是会泽铅锌矿床最主要的赋矿地层; 构造以 NE 向断裂为主, 代表性断裂有矿山厂断裂、东头断裂、麒麟厂断裂、银厂坡断裂和牛栏江断裂(图 1), 这些断裂具

* 国家自然科学基金项目(40172038)和云南省省院省校科技合作项目(2000YK-04)资助

第一作者简介 黄智龙, 男, 1967 年生, 研究员, 主要从事岩石和矿床地球化学研究。

收稿日期 2002-06-17; 改回日期 2002-12-30。张绮玲编辑。

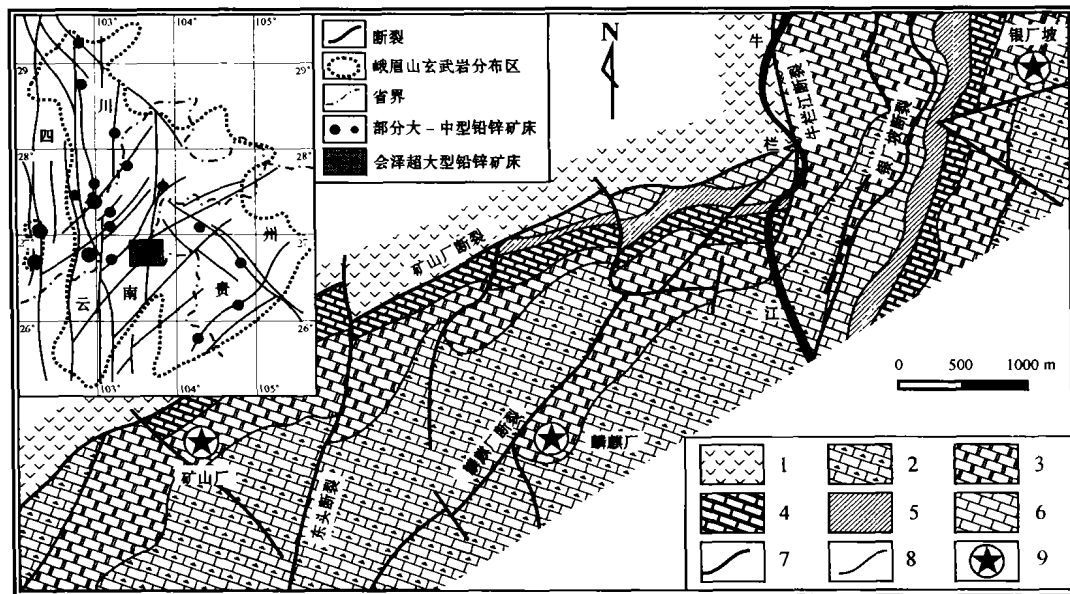


图1 会泽超大型铅锌矿床地质图

1—二叠系峨眉山玄武岩;2—二叠系:包括栖霞组—茅口组(P_1q+m)灰岩、白云质灰岩夹白云岩,梁山组(P_1l)碳质页岩和石英砂岩;3—石炭系:包括马平组(C_3m)角砾状灰岩,威宁组(C_2w)鲕状灰岩,摆佐组(C_1b)粗晶白云岩夹灰岩及白云质灰岩,大塘组(C_1d)隐晶灰岩及鲕状灰岩;4—泥盆系:包括宰格组(D_3z)灰岩、硅质白云岩和白云岩,海口组(D_2h)粉砂岩和泥质页岩;5—寒武系:包括笨竹寺组(ϵ_1q)泥质页岩夹砂质泥岩;6—震旦系地层:包括灯影组(Z_2d)硅质白云岩;7—断裂;8—地层界线;9—铅锌矿床

Fig. 1 Geological map of the Huize superlarge Pb-Zn deposit

1—Permian Emeishan basalt; 2—Permian strata: Qixia-Maokou Formation (P_1q+m): limestone and dolomitic limestone intercalated with dolomite; Liangshan Formation (P_1l) carbonaceous shale and quartz sandstone; 3—Carboniferous strata: Maping Formation (C_3m) brecciated limestone; Weining Formation (C_2w) oolitic limestone; Baizuo Formation (C_1b) coarsely-crystalline dolomite intercalated with limestone and dolomitic limestone; Datang Formation (C_1d) cryptocrystalline and oolitic limestone; 4—Devonian strata: Zaige Formation (D_3z) limestone, siliceous dolomite and dolomite; Haikou Formation (D_2h) siltstone and argillaceous shale; 5—Cambrian strata: Qiongzhusi Formation (ϵ_1q): argillaceous shale intercalated with arenaceous mudstone; 6—Sinian strata: Dengying Formation (Z_2d) siliceous dolomite; 7—Fault; 8—Stratigraphic boundary; 9—Lead-zinc deposit

有多期活动的特点,与成矿关系密切。矿区岩浆岩主要为二叠纪峨眉山玄武岩,出露于矿区北部和西南部外围地区(图1)。矿床的上部为氧化矿、下部为原生矿、中间为混合矿,氧化矿组成相当复杂,而原生矿组成相对简单,矿石矿物为方铅矿、闪锌矿和黄铁矿,脉石矿物为方解石。

会泽超大型铅锌矿床明显受NE向构造带控制。韩润生等(2000;2001b)已对矿区NE向构造带的岩石组合、变形及蚀变特征、力学性质及演化规律做了较详细的叙述。构造带内的方解石按产状可大体分为3类:斑状、晶洞状和脉状。斑状方解石,多呈斑状分布于碳酸盐构造角砾中,形态不规则,与寄主碳酸盐岩石呈渐变过渡,大小1~5 cm不等,这种产状的方解石为碳酸岩角砾在构造作用下重结晶的产物;晶洞状方解石,主要沿构造带中的空洞或裂隙

边缘生长,晶形较好,无色透明,为后期淋滤地层碳酸盐的流体结晶产物;脉状方解石,呈脉体分布于构造带内,脉体宽从小于1 cm到大于10 cm不等,延伸最长达1000 cm,走向与构造带一致,可能为构造流体活动的产物,是本文的研究重点(下文除特别说明外,均指这种产状的方解石)。

2 稀土元素测试流程及分析结果

本文研究的方解石均采自NE向东头断裂带(图1;采样位置如表1脚注),该断裂带穿过矿区所有地层,为近年探明的10号隐伏矿体的导矿构造,其派生的NE向次级断裂为该矿体的容矿构造。方解石稀土元素含量由中国科学院地球化学研究所ICP-MS分析室分析,分析方法及流程与Qi等

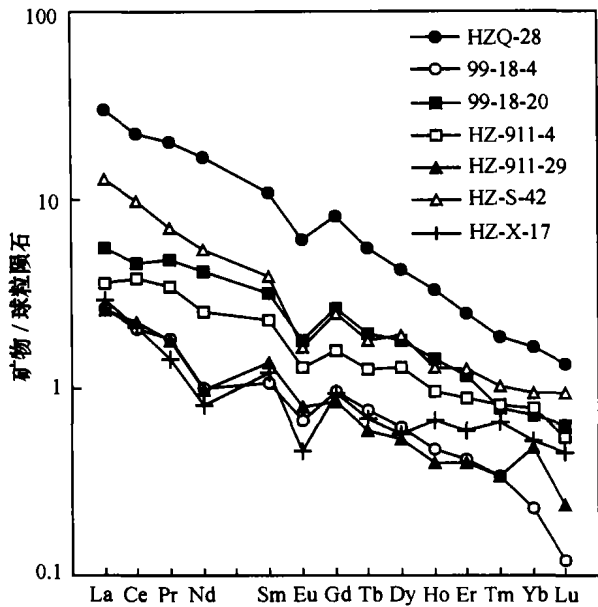


图 2 北东向构造带方解石 REE 配分模式
球粒陨石据 Boynton (1984); 样品编号同表 1

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns of calcites from the NE-trending fault zone
Chondrite data after Boynton (1984); Serial number of the sample as for Table 1

(2000)介绍的基本相同,分析误差小于 10%。表 1 列出了会泽铅锌矿床北东向构造带方解石 REE 含量及有关参数。为便于对比,表 1 中同时列出了该区矿石中 3 种产状(即团块状、斑状和脉状)方解石的稀土元素含量及有关参数统计结果。图 2 为 NE 向构造带方解石的稀土配分模式。结果表明:

(1) NE 向构造带方解石稀土含量范围较宽。 ΣREE (包括 Y, 下同): $5.471 \times 10^{-6} \sim 56.788 \times 10^{-6}$, LREE: $3.504 \times 10^{-6} \sim 42.918 \times 10^{-6}$, HREE (不包括 Y, 下同): $0.649 \times 10^{-6} \sim 4.956 \times 10^{-6}$, LREE/HREE: 4.533 ~ 8.688; Sm/Nd 为 0.213 ~ 0.486。

(2) NE 向构造带方解石稀土配分模式为相似的轻稀土富集型,但有关参数具有较宽的变化范围。 $(\text{La}/\text{Yb})_n$ 、 $(\text{La}/\text{Sm})_n$ 和 $(\text{Gd}/\text{Yb})_n$ 分别为 4.660 ~ 18.677、1.574 ~ 3.338 和 1.734 ~ 5.041,较强的铈负异常, δEu 为 0.439 ~ 0.742, 铈异常不明显, δCe 为 0.899 ~ 1.085。

3 讨论

3.1 NE 向构造带中方解石的成因

由于稀土元素之间地球化学性质的差异,

LREE、HREE 之间的比值变化常用来探讨相同体系岩石或矿物的同源性(Lottermoser, 1992)。Bau 等(1995)研究了德国 Tannenboden 矿床和 Beihilfe 矿床中萤石和方解石的 REE 地球化学,并指出同源矿物在 Y/Ho-La/Ho 图上大体呈水平分布。虽然矿区 NE 向构造带方解石 REE 含量和有关参数变化范围较宽(表 1),但其稀土配分模式为相似的轻稀土富集型(图 2),在 La/Ho-Y/Ho 图上(图 3),7 件样品基本沿一水平线分布,表明其同源性。笔者测得样品 HZ-911-4、HZQ-28 的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 分别为 -3.0‰、-3.4‰ 和 16.3‰、16.7‰,可见其碳、氧同位素组成变化不明显,同样支持该区 NE 向构造带中方解石为同源产物的结论。

3.2 NE 向构造带中方解石 REE 的影响因素

NE 向构造带为会泽超大型铅锌矿床的控矿构造,构造带中的方解石为富含碳酸盐构造流体活动的产物,因而其稀土元素含量可以提供构造流体来源及演化的信息。控矿构造带为相对开放环境,大气降水、地层流体、岩浆流体、地幔流体以及成矿流体等均可能影响构造流体的成分变化。在总结会泽超大型铅锌矿床 NE 向构造带方解石稀土元素地球化学特征的基础上,从以下方面分析影响该矿床 NE 向构造带方解石稀土元素地球化学特征的因素,对探讨该区控矿构造中流体的来源及演化是有帮助的。

(1) 与矿体的距离 本区 NE 向构造带中方解石为同源产物,为什么产于不同构造带部位的方解石稀土含量会有如此大的差别呢($\Sigma\text{REE}: 5.471 \times$

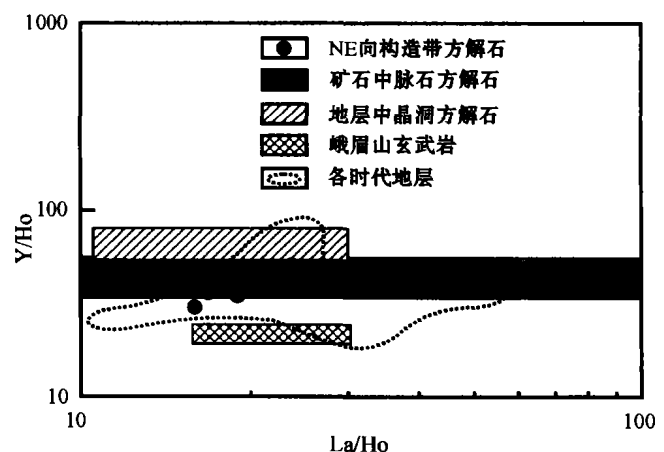


图 3 北东向构造带方解石的 La/Ho-Y/Ho
Fig. 3 La/Ho versus Y/Ho diagram of calcites from the NE-trending fault zone

表1 会泽铅锌矿床北东向构造带方解石和矿中脉石方解石稀土元素含量及参数
Table 1 The rare earth element contents and parameter of calcites from NE fault zone in Huize Pb-Zn deposit.

所在地层 与矿体距离/m	矿中脉石矿物方解石												
	HZ-911-4 C _{1d}	HZ-911-29 D _{3z}	99-18-4 C _{1d}	99-18-20 C _{1b}	HZQ-28 P _{1q-m}	HZ-S-42 C _{2w}	HZ-X-17 D _{2h}	1500	团块状方解石(18)	7	3		
	540	450	500	350	150	250	1500	范围	均值	范围	均值	范围	均值
La	1.106	0.792	0.813	1.723	9.419	3.991	0.912	2.027~18.302	7.220	2.267~17.520	6.937	4.677~7.854	6.458
Ce	3.069	1.794	1.667	3.743	18.308	7.991	1.673	9.284~91.056	30.891	7.731~45.960	23.720	10.557~16.073	13.793
Pr	0.419	0.215	0.221	0.583	2.483	0.872	0.173	1.609~16.975	5.466	1.237~5.700	3.667	1.307~1.893	1.666
Nd	1.501	0.587	0.593	2.493	10.103	3.243	0.479	7.451~85.500	26.565	5.710~24.770	16.774	4.912~7.342	6.440
Sm	0.442	0.263	0.204	0.623	2.154	0.752	0.233	1.481~23.052	6.140	1.001~4.726	2.909	0.634~0.997	0.808
Eu	0.093	0.058	0.049	0.129	0.451	0.119	0.034	0.356~3.505	1.058	0.444~1.820	1.233	0.442~0.521	0.483
Gd	0.409	0.217	0.247	0.686	2.124	0.645	0.241	1.277~20.616	5.290	0.786~3.652	2.204	0.449~0.736	0.606
Tb	0.059	0.028	0.036	0.092	0.264	0.084	0.032	0.157~2.437	0.591	0.073~0.369	0.195	0.022~0.047	0.037
Dy	0.410	0.171	0.199	0.569	1.372	0.612	0.183	0.657~11.155	2.774	0.340~1.839	0.881	0.061~0.163	0.110
Ho	0.069	0.029	0.034	0.102	0.235	0.091	0.048	0.085~1.578	0.408	0.031~0.328	0.141	0.009~0.018	0.015
Er	0.184	0.084	0.089	0.239	0.517	0.263	0.124	0.167~3.199	0.889	0.089~0.837	0.360	0.027~0.035	0.032
Tm	0.026	0.011	0.011	0.025	0.060	0.033	0.021	0.010~0.274	0.082	0.006~0.100	0.049	0.003~0.006	0.005
Yb	0.160	0.101	0.049	0.148	0.340	0.194	0.109	0.037~1.142	0.388	0.031~0.560	0.274	0.015~0.033	0.024
Lu	0.018	0.008	0.004	0.021	0.044	0.031	0.015	0.004~0.121	0.041	0.002~0.110	0.041	0.001~0.004	0.003
Y	2.159	1.113	1.743	3.620	8.914	4.172	1.680	4.772~78.303	19.132	2.092~11.318	5.772	0.567~1.125	0.870
ΣREE	10.124	5.471	5.959	14.796	56.788	23.093	5.957	31.898~357.141	106.935	22.601~106.670	65.157	23.700~36.241	31.348
LREE	6.630	3.709	3.547	9.294	42.918	16.968	3.504	24.108~238.390	77.340	18.390~95.920	55.239	22.529~34.475	29.648
HREE	1.335	0.649	0.669	1.882	4.956	1.953	0.773	2.622~40.448	10.462	1.705~7.718	4.146	0.604~1.040	0.830
LREE/HREE	4.966	5.715	5.302	4.938	8.660	8.688	4.533	3.725~17.906	8.710	8.219~24.947	14.984	30.711~40.702	36.238
δEu	0.669	0.742	0.667	0.603	0.645	0.522	0.439	0.325~0.955	0.622	1.138~2.040	1.564	1.731~2.533	2.171
δCe	1.085	1.046	0.947	0.899	0.911	1.031	1.014	1.077~1.250	1.184	1.107~1.281	1.158	1.003~1.028	1.014
(Gd/Yb) _n	2.063	1.734	4.068	3.740	5.041	2.683	1.784	2.674~64.902	18.427	3.415~50.083	13.851	15.753~34.107	22.619
(La/Yb) _n	4.660	5.287	11.186	7.849	18.677	13.870	5.641	2.674~131.634	30.230	6.861~223.441	47.129	137.096~353.008	209.969
Sm/Nd	0.294	0.448	0.344	0.250	0.213	0.232	0.486	0.166~0.279	0.224	0.131~0.221	0.172	0.108~0.141	0.126

注:地层代号同图1;括号内为样品数;样品HZ-911-4和HZ-911-29采自标高为1751m的911[#]勘探坑道,99-18-4和99-18-20采自标高为1571m的9918[#]勘探坑道,HZQ-28采自钻孔(DZK15-110-2)的岩芯,HZ-S-42和HZ-X-17分别采自地表孙家沟和小黑箐;矿中脉石矿物方解石的原始数据由中国科学院地球化学研究所 ICP-MS 分析。

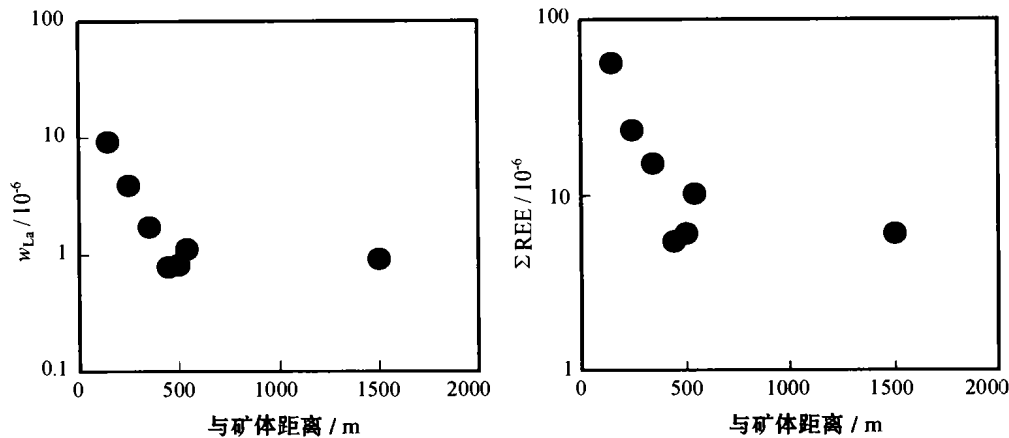


图 4 北东向构造带方解石中 La 和 ΣREE 与矿体距离的关系

Fig. 4 Relationship between La, REE contents of calcites from the NE-trending fault zone and the distance from the orebody

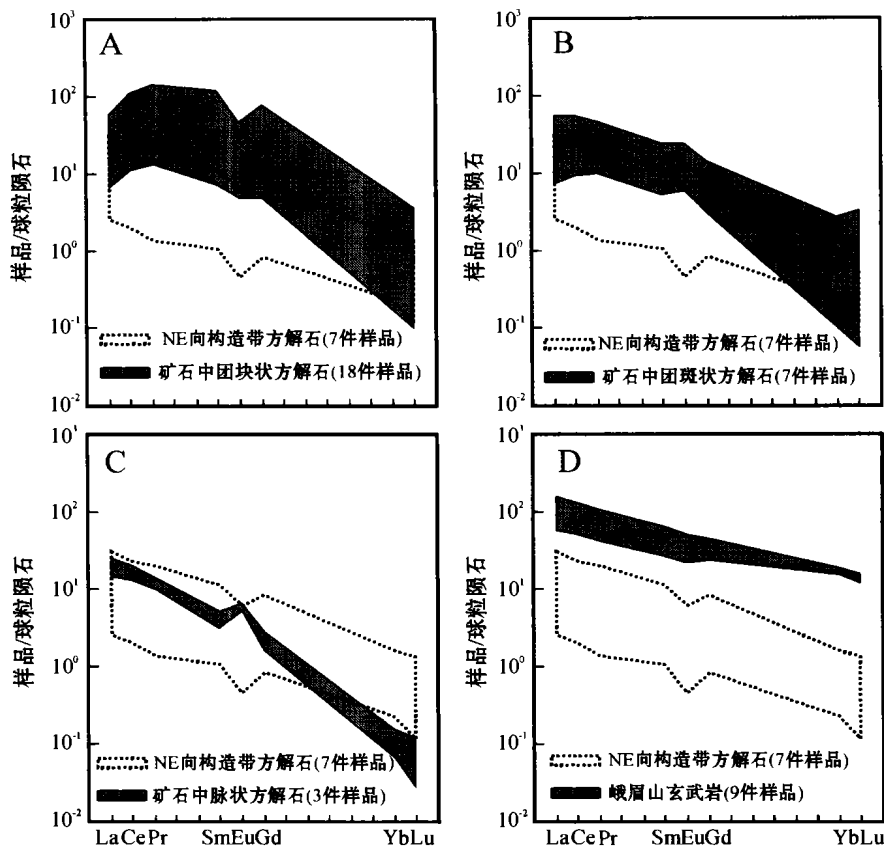


图 5 北东向构造带方解石与矿石中脉石矿物方解石和峨眉山玄武岩 REE 配分模式对比
矿石中脉石矿物方解石和峨眉山玄武岩 REE 为本文分析

Fig. 5 Comparison of REE patterns between calcites from the NE-trending fault zone and calcites from ores and Emeishan basalts
REE of the gangue mineral calcite in the ore and the Emeishan basalt determined by the authors themselves.

$10^{-6} \sim 56.788 \times 10^{-6}$)? 从图 4 上可见,除样品 HZ-X-17 外,其余样品的稀土含量和有关参数与矿体距离之间存在较明显的关系,离矿体距离越近,方解石

稀土含量越高,表明富含碳酸盐的构造流体在沿 NE 向构造带运移过程中稀土元素逐渐降低。从表 1 中还可看出,从距矿体 150 m → 250 m → 350 m → 450

m, REE 含量降低明显, Σ REE 从 $56.788 \times 10^{-6} \rightarrow 23.093 \times 10^{-6} \rightarrow 14.796 \times 10^{-6} \rightarrow 5.471 \times 10^{-6}$, 而从距矿体 450 m \rightarrow 500 m \rightarrow 540 m \rightarrow 1 500 m, REE 含量变化不明显, Σ REE 从 $5.471 \times 10^{-6} \rightarrow 5.959 \times 10^{-6} \rightarrow 10.124 \times 10^{-6} \rightarrow 5.957 \times 10^{-6}$, 表明本区富含碳酸盐的构造流体中稀土元素的减少主要发生在距矿体 500 m 范围内。

(2) 成矿流体 韩润生等(2000)的分析结果表明, 会泽超大型铅锌矿床中的脉石矿物方解石是成矿流体中稀土元素的主要载体。黄智龙等(2001a)的研究结果显示, 本区矿石中 3 种产状方解石(即团块状、斑状和脉状)稀土元素含量具有连续变化的特征, 三者为同源不同阶段的产物, 三者的稀土含量、有关参数及配分模式的差异与成矿流体所处的氧化还原环境密切相关, 早期方解石(即团块状)形成于相对还原环境, 其稀土含量相对较高, 稀土配分模式出现铈负异常, 晚期方解石(即脉状)形成于相对氧化环境, 其稀土含量相对较低, 稀土配分模式出现铈正异常。

从表 1 中可见, NE 向构造带方解石的 Σ REE 上限值在矿石中脉石方解石范围内, 而下限值相对较低。图 5A、5B、5C 表明, NE 向构造带方解石的稀土模式与矿石中团块状、斑状和脉状脉石方解石均有不同程度的差异, 但其具有的铈负异常(δ Eu: 0.439~0.742)与矿石中团块状方解石相似(δ Eu: 0.325~0.955), 而与斑状和脉状方解石具有的铈正异常明显不同(δ Eu 分别为 1.138~2.040 和 1.731~2.533)。从这个角度看, 本区 NE 向构造带中的富含碳酸盐构造流体可能起源于成矿流体。NE 向构造带方解石的 Sm/Nd 为 0.213~0.486, 矿石中脉石方解石的为 0.108~0.279, 在 Sm/Nd- δ Eu 图上(图 6), NE 向构造带中的方解石和矿石中 3 种产状方解石具有明显不同的变化趋势, 前者的起始点位于矿石中团块状方解石区, 该特征在 Sm/Nd-Y、Sm/Nd-Tb/La 和 Sm/Nd-LREE/HREE 图上均有显示(黄智龙等, 2001a), 暗示两者具有共同的源区。NE 向构造带中的方解石分布于矿石中脉石方解石范围内, 反映两者具共同来源。碳、氧同位素组成显示, 矿石中 3 种产状的方解石 $\delta^{13}C_{PDB}$ 和 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 分别为 $-2.7\text{‰} \sim -3.5\text{‰}$ 和 $16.7\text{‰} \sim 18.6\text{‰}$ (12 件样品), 与 NE 向构造带中方解石的 $\delta^{13}C_{PDB}$ 和 $\delta^{18}O_{SMOW}$ (分别为 $-3.0\text{‰} \sim -3.4\text{‰}$ 和 $16.3\text{‰} \sim 16.7\text{‰}$; 2 件样品)相似, 也表明两者之间存在密切的联系。

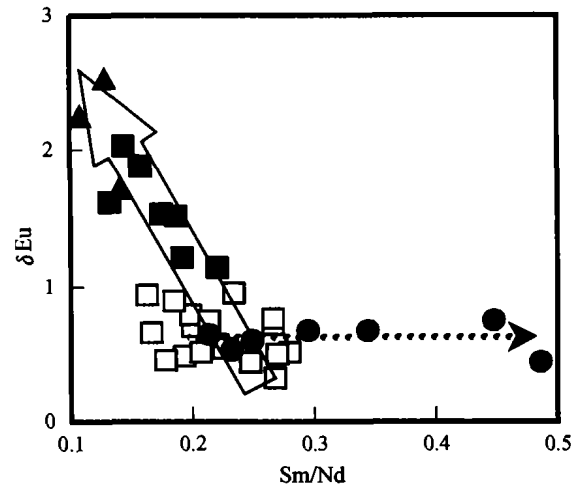


图 6 北东向构造带方解石与矿石中脉石矿物方解石 Sm/Nd- δ Eu 图

□—矿石中团块状方解石, ■—矿石中团斑状方解石, ▲—矿石中脉状方解石, ●—北东向构造带方解石, 空心箭头为矿石中脉石矿物方解石演化趋势, 点线箭头为北东向构造带方解石演化趋势

Fig. 6 Sm/Nd versus δ Eu diagram of calcites from the NE-trending fault zone and ores

□—Lumpy calcite in ore; ■—Lumpy-porphyritic calcite; ▲—Vein calcite in ore; ●—Calcite in the NE-trending fault zone. The hollow arrow indicates the evolution trend of the gangue mineral calcite in the ore, whereas the dotted arrow the evolution trend of calcite in the NE-trending fault zone

(3) 地层 NE 向构造带的围岩地层比较复杂。图 7 是矿区 NE 向构造带方解石稀土配分模式与所在地层稀土配分模式的对比, 样品 HZ-911-4 和 HZ-S-42 分别与所在的大塘组和威宁组地层稀土配分模式相似, 样品 HZ-X-17、99-18-4 和 HZ-911-29 的稀土含量低于所在的海口组、大塘组和宰格组地层, 而样品 99-18-20 和 HZQ-28 的稀土含量高于所在的摆佐组和栖霞-茅口组地层。稀土配分模式具有的轻稀土富集型和铈负异常特征均与所在地层有相似之处(栖霞-茅口组除外)。这些特征表明, 地层对 NE 向构造带的构造流体造成一定的影响。

Michard(1989)的研究结果表明, 碳酸盐地层不可能淋滤出相对富含稀土元素的流体。本次工作分析的 4 件碳酸盐地层中晶洞方解石 REE 含量除 1 件样品的 Σ REE 为 9.736×10^{-6} 外, 其余 3 件均小于 3×10^{-6} (由于晶洞方解石大部分 REE 的含量低于检出限, 其稀土配分模式不规则, 因而未列出相应的数据和图)也说明这一点, 在图 3 上 NE 向构造带的方解石与晶洞方解石分布在不同区域, 也表明两者成因上的差异。本区碳酸盐地层的 $\delta^{13}C_{PDB}$ 和

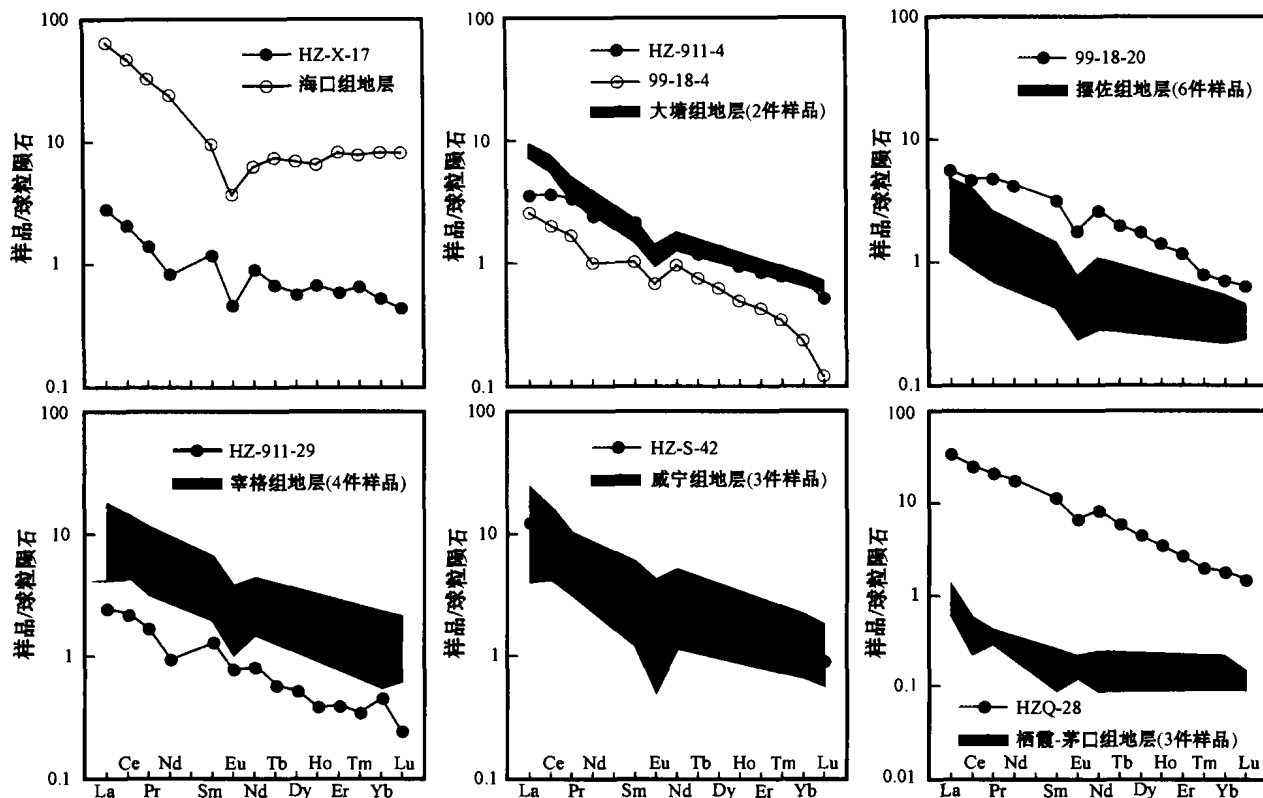


图 7 北东向构造带方解石与所在地层 REE 配分模式对比
地层 REE 含量为本文分析；地层代号同图 1

Fig. 7 Comparison of REE patterns between calcites in the NE-trending fault zone and the strata in the ore district.
REE contents of the strata determined by the authors themselves; Symbols of the strata as for Figure 1.

$\delta^{18}O_{SMOW}$ 具有较宽的变化范围 (分别为 +0.85‰ ~ -3.55‰ 和 14.5‰ ~ 24.1‰; 12 件样品), 与 NE 向构造带中方解石的 $\delta^{13}C_{PDB}$ 和 $\delta^{18}O_{SMOW}$ (分别为 -3.0‰ ~ -3.4‰ 和 16.3‰ ~ 16.7‰; 2 件样品) 不同, 表明两者成因上的差异。因此, NE 向构造带的构造流体中除有源于地层的组分外, 还应有相对富稀土元素、低 $\delta^{13}C_{PDB}$ 和 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 的组分参与。

(4) 峨眉山玄武岩 会泽超大型铅锌矿床外围有大面积峨眉山玄武岩出露, 黄智龙等 (2001b) 认为矿床成矿时代可能与峨眉山玄武岩的岩浆活动时代相近。虽然矿区 NE 向构造带的方解石稀土含量 ($\sum REE: 5.471 \times 10^{-6} \sim 56.788 \times 10^{-6}$) 低于峨眉山玄武岩 ($\sum REE: 149.01 \times 10^{-6} \sim 325.88 \times 10^{-6}$), 但前者的 Sm/Nd 下限与后者相近 (分别为 0.213 ~ 0.486 和 0.201 ~ 0.242), 两者的 REE 配分模式为相似 LREE 富集型 (图 5D), $(La/Pr)_n$ 分别为 1.039 ~ 2.075 和 1.276 ~ 1.434, $(La/Sm)_n$ 分别为 1.574 ~ 3.338 和 2.04 ~ 2.54, $(Gd/Yb)_n$ 分别为 1.734 ~

5.041 和 1.51 ~ 2.46, $(La/Yb)_n$ 分别为 4.660 ~ 18.677 和 3.83 ~ 8.44, 两者均存在 Eu 负异常, δEu 分别为 0.439 ~ 0.742 和 0.86 ~ 0.95。如果考虑到 NE 向构造带中方解石稀土元素含量随着与矿体距离由近到远降低, 那么 NE 向构造带中构造流体的稀土元素含量应高于所测样品的上限值, 其稀土元素地球化学特征应更接近峨眉山玄武岩。

前已述及, 矿区 NE 向构造带的构造流体中有相对富稀土元素、低 $\delta^{13}C_{PDB}$ 和 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 的组分。地幔流体相对富集稀土元素已被大量研究成果所证实 (刘丛强等, 2001), 且其 $\delta^{13}C_{PDB}$ (-4‰ ~ -8‰) 和 $\delta^{18}O_{SMOW}$ (+6‰ ~ +10‰) (Taylor et al., 1967) 相对低于矿区地层 (分别为 +0.85‰ ~ -3.55‰ 和 14.5‰ ~ 24.1‰) 和 NE 向构造带中的方解石 (分别为 -3.0‰ ~ -3.4‰ 和 16.3‰ ~ 16.7‰)。峨眉山玄武岩是较为典型的地幔柱活动产物 (Chung et al., 1995; Xu et al., 2001; Song et al., 2001), 岩浆活动过程中存在大量地幔流体 (如地幔去气作用和岩

浆去气作用)。因此,本区 NE 向构造带中的构造流体(和成矿流体)与峨眉山玄武岩岩浆活动可能存在密切联系。

4 结论

根据以上研究结果,可得出如下主要结论:矿区 NE 向构造带中脉状方解石的稀土元素含量范围较宽($\Sigma\text{REE}: 5.471 \times 10^{-6} \sim 56.788 \times 10^{-6}$)、稀土配分模式为相似的轻稀土富集型、存在较强的铈负异常($\delta\text{Eu}: 0.439 \sim 0.742$);构造带中脉状方解石为同源构造流体的结晶产物,构造流体沿构造带运移过程中存在稀土元素减少过程;构造流体的稀土元素地球化学特征明显受成矿流体控制;构造流体(和成矿流体)与矿区地层和峨眉山玄武岩岩浆活动均存在密切联系。

致谢 野外地质工作过程中得到云南会泽铅锌采选厂领导及地质科技人员的大力支持和帮助,中国科学院地球化学研究所漆亮高级工程师完成了本文的测试工作,在此表示感谢。

References

- Bau M and Dulski P. 1995. Comparative study of yttrium and rare-earth element behaviors in fluorine-rich hydrothermal fluids [J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 119: 213~223.
- Boynton W V. 1994. Cosmochemistry of the rare earth elements; meteorite studies [J]. *Dev. Geochem.*, 2: 63~114.
- Chen J, Han R S, Gao D R, et al. 2001. Geological characteristics of Huize Pb-Zn deposit, Yunnan, and model of ore prospecting method [J]. *Geology Geochemistry*, 29(3): 124~129 (in Chinese with English abstract).
- Chung S L and Jahn B M. 1995. Plume-lithosphere interaction in generation of the Emeishan flood basalts at the Permian-Triassic boundary [J]. *Geology*, 23: 889~892.
- Evans J P and Mchester F. 1995. Fluid-rock interaction in the San Andres system: Inferences from San Cabriel fault rock geochemistry and microstructures [J]. *J. Geophysics Research*, 100(B7): 13 007~13 020.
- Gao D R. 2000. The ore-forming geological condition and the ore prospecting direction of Huize lead-zinc deposit [J]. *J. Kunming Univ. of Tech. & Sci.*, 25(4): 19~24 (in Chinese with English abstract).
- Han R S, Chen J, Li Y, et al. 2001a. Law of structural control of minerals and prediction of concealed ore for Yunnan Huize Pb-Zn deposit [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(2): 265~269 (in Chinese with English abstract).
- Han R S, Chen J, Li Y, et al. 2001b. Tectono-geochemical features and orientation prognosis of concealed ores of Qilinchang Lead-Zinc deposit in Huize, Yunnan [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(4): 667~673 (in Chinese with English abstract).
- Han R S, Chen J, Li Y, et al. 2001c. Discovery of concealed No. 8 ore body in Qilinchang Lead-zinc deposit in Huize Mine, Yunnan [J]. *Geology Geochemistry*, 29(3): 191~195 (in Chinese with English abstract).
- Han R S, Liu C Q, Huang Z L, et al. 2000. Features of structural control of minerals and fault structural rock rare earth element for Huize Pb-Zn Deposit, Yunnan [J]. *J. Mineral and Rocks*, 20(4): 11~18 (in Chinese with English abstract).
- Han R S, Liu C Q, Huang Z L, et al. 2003. Huize Carbonate-hosted rich Zn-Pb-(Ag) District, Yunnan, China [J]. *Ore Geology Reviews*, (in press).
- Huang Z L, Chen J, Han R S, et al. 2001a. REE geochemistry of vein mineral calcites in the Huize Pb-Zn deposit, Yunnan Province, China [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(4): 659~666 (in Chinese with English abstract).
- Huang Z L, Chen J, Liu C Q, et al. 2001b. Preliminary the relationship between Emeishan basalts and Pb-Zn mineralization: As exemplified by the Huize Pb-Zn deposits, Yunnan Province, China China [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(4): 691~697 (in Chinese with English abstract).
- Liu C Q, Huang Z L, Li H P, et al. 2001. Mantle fluids mineralization [J]. *Earth Science Frontiers*, 8: 251~267 (in Chinese with English abstract).
- Liu H C and Lin W D. 1999. Study on Pb-Zn-Ag Ore Deposit Law in Northeast Yunnan [M]. Kunming: Yunnan University Press. 492p (in Chinese).
- Lottermoser B G. 1992. Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes [J]. *Ore Geology Reviews*, 7: 25~41.
- Michard A. 1989. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53: 745~750.
- Parry W T. 1998. Fault-fluid compositions from fluid-inclusion observations and solubilities of fracture-sealing minerals [J]. *Precambrian Research*, 91: 1~26.
- Polliand M and Moritz R. 1999. Basement-hosted quartz-barite sulfide veins in the French Alps: A record of Alpine tectonic fluid expulsion in external crystalline massifs-structural, fluid inclusion, and isotope (S and Sr) evidences [J]. *Econ. Geol.*, 94: 37~56.
- Qi L, Hu J and Gregoire D C. 2000. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Talanta*, 51: 507~513.
- Song X Y, Zhou M F, Hou Z Q, et al. 2001. Geochemical Constraints on the Mantle Source of the Upper Permian Emeishan Continental Flood Basalts, Southwestern China [J]. *International Geology Reviews*, 43: 213~225.
- Xu Y G, Chung S L, Jahn B M, et al. 2001. Petrologic and geochemical constraints on the petrogenesis of Permian-Triassic Emeishan

- flood basalts in southwestern China [J]. *Lithos*, 58: 145~168.
- Zhou C X, Wei C S, Guo J Y. 2001. The source of metals in the Qilingchang Pb-Zn deposit, Northeastern Yunnan, China: Pb-Sr isotope constraints [J]. *Econ. Geol.*, 96: 583~598.
- 附中文参考文献**
- 陈进, 韩润生, 高德荣, 等. 2001. 云南会泽铅锌矿床地质特征及找矿方法模式[J]. *地质地球化学*, 29(3): 124~129.
- 高德荣. 2000. 会泽铅锌矿床成矿地质条件及找矿方向[J]. *昆明理工大学学报*, 25(4): 19~24.
- 韩润生, 陈进, 李元, 等. 2001a. 云南会泽铅锌矿床构造控矿规律及其隐伏矿预测[J]. *矿物学报*, 21(2): 265~269.
- 韩润生, 陈进, 李元, 等. 2001b. 云南会泽麒麟厂铅锌矿床构造地球化学及定位预测[J]. *矿物学报*, 21(4): 667~673.
- 韩润生, 陈进, 李元, 等. 2001c. 云南会泽麒麟厂铅锌矿床八号矿体的发现[J]. *地质地球化学*, 29(3): 191~195.
- 韩润生, 刘丛强, 黄智龙, 等. 2000. 云南会泽铅锌矿床构造控矿及断裂构造岩稀土元素组成特征[J]. *矿物岩石*, 20(4): 11~18.
- 黄智龙, 陈进, 韩润生, 等. 2001a. 云南会泽铅锌矿床脉石矿物方解石 REE 地球化学[J]. *矿物学报*, 21(4): 659~666.
- 黄智龙, 陈进, 刘丛强, 等. 2001b. 峨眉山玄武岩与铅锌矿床成矿关系初探——以云南会泽铅锌矿床为例[J]. *矿物学报*, 21(4): 681~688.
- 刘丛强, 黄智龙, 李和平, 等. 2001. 地幔流体及其成矿作用[J]. *地学前缘*, 8(4): 231~244.
- 柳贺昌, 林文达. 1999. 滇东北铅锌银矿床规律研究[M]. 昆明: 云南大学出版社. 492 页.

REE Geochemistry of Calcites from Fault Zone of Huize Superlarge Pb-Zn Deposits in Yunnan Province

Huang Zhilong¹, Li Wenbo¹, Chen Jin², Wu Jing³, Han Runsheng^{1,3} and Liu Congqiang¹

(1 Open Laboratory of Ore Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China; 2 Huize Pb-Zn Mine of Yunnan, Huize 654211, Yunnan, China; 3 Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China)

Abstract

The orebodies of the Huize superlarge Pb-Zn deposit in Yunnan Province are controlled obviously by the NE-trending fault zone. The vein calcites in this fault zone are precipitated from carbonate-rich fluids. Based on a study of the REE geochemical features of vein calcites, the authors have dealt with in this paper the source of the fluids in the fault zone and its relationship with the ore-forming fluids. It is shown that the REE content of vein calcite in NE-trending fault zone ranges from 5.471×10^{-6} to 56.778×10^{-6} , that the REE patterns are similar (LREE-rich), and that the Eu anomaly is rather strong (δEu being 0.439~0.742). According to REE geochemistry, carbon and oxygen isotopes data of the strata, the gangue mineral (calcites) and the Emeishan basalts, the authors hold that the wide range of the REE content of vein calcite in the NE-trending fault zone results from REE reduction during the migration of fluids in the fault zone, that REE geochemistry of fluid in the fault zone is controlled obviously by the ore-forming fluid, and that fluids in the NE-trending fault zone (and ore-forming fluids) have close relations with the strata and the magmatic activity of the Emeishan basalts.

Key words: geochemistry, calcites in fault zone, REE geochemistry, Huize Pb-Zn deposits