

云南金顶铅锌矿床成矿流体与流体的稀土元素研究

曾 荣¹, 薛春纪², 刘淑文¹, 高永宝¹, 朱和平³

(1. 长安大学资源学院地质系, 西安 710054; 2. 中国地质大学地学院, 北京 100083;

3. 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室, 北京 100029)

[摘 要] 金顶铅锌矿床流体包裹体的显微测温 and 流体的稀土元素特征表明: 金顶矿区成矿流体均一温度为 54℃ ~ 309℃, 平均 143℃, 盐度($\omega(\text{NaCl})$, 下文同)为 1.6% ~ 18.0%, 平均 6.0%。在矿区, 由东向西、由北向南温度逐渐降低, 而盐度从东向西稍有降低, 但是从北向南却是增加的。从第一矿化阶段到第三矿化阶段, 稀土总量和 LREE/HREE 都是逐步增加的, 轻稀土富集程度逐步增强, 并且轻、重稀土内部分异程度也由轻稀土分馏程度大于重稀土分馏程度变为重稀土分馏程度大于轻稀土分馏程度, 并且流体有从还原环境向氧化环境转变的趋势。

[关键词] 金顶铅锌矿 流体包裹体 显微测温 稀土元素

[中图分类号] P618.42; P618.43 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2007)02-0055-07

金顶铅锌矿位于云南省兰坪县境内, 地理坐标为东经 99°25', 北纬 26°24', 其 Pb-Zn 控制储量 1500 万 t (平均品位 Pb 1.29%, Zn 6.08%), 成矿总金属量大于 2200 万 t, 是目前中国最大铅-锌矿床, 也是世界上最年轻的以沉积岩为主岩的超大型矿床。对金顶矿床的研究始于 20 世纪 80 年代, 有认为是“同生沉积-后期改造层控矿床”^[1-2], 也有认为是“中低温非岩浆热液成矿”^[3]、“同生沉积-变形叠加成矿”^[4]、“喷气(热液)沉积成矿”^[5]、“岩溶成矿”^[6]、“壳幔流体混合成矿”^[7-11] 等观点, 认识分歧较大。而引起这种分歧的主要原因是成矿流体的性质以及流体过程还没有搞清楚。作者想从流体包裹体以及流体包裹体稀土元素特征来探讨一下金顶矿区的流体性质。

1 成矿背景和矿床地质

云南金顶铅锌矿床位于西南三江褶皱系南段的兰坪中新世盆地北段, 属于处在澜沧江与金沙江-哀牢山两个构造带之间的昌都-思茅微板块, 东侧与扬子板块相接, 西侧与藏滇板块毗邻, 由于受金沙江洋的俯冲消减和印度板块与欧亚板块持续俯冲的作用, 经历了漫长的演化过程。盆地内在古特提斯基础上先后沉积了海相、陆相碳酸盐岩、火山岩

和碎屑岩建造, 地层中有多个陆相含膏岩层位, 存在多个沉积间断, 以盆地东西边缘金沙江-哀牢山断裂和澜沧江断裂及盆地中央兰坪-思茅断裂为主构成的盆地断裂系统深达下地壳、上地幔^[12], 同时存在近东西向隐伏构造, 它们共同控制了盆地的构造演化, 印支期为裂谷性质, 燕山期是坳陷盆地, 喜马拉雅期属走滑拉分盆地。

受印度板块与欧亚板块相互碰撞制约, 板内构造体制下的深大断裂和岩浆活动、地幔扰动和地幔流体上涌、地层中不整合及壳幔相互作用等所体现的大陆地壳强烈运动是兰坪盆地成矿基本地质背景, 具有大规模有效沟通地幔的盆地动力体制^[12]。

在此构造背景下, 金顶矿区大致经历了沉积作用、推覆活动、局部热穹隆、穹隆破裂等地质过程, 成矿作用伴随局部引张和隆升-热液活动发生, 成矿时间与该区喜马拉雅期碱性岩浆活动开始的时间(68Ma)相当^[13]。

金顶矿区由北场、跑马坪、架崖山、西坡南厂、白草坪、峰子山 6 个矿段组成(图 1)。矿区地层有两套系统: 原地系统和外来系统。原地系统由中白垩统虎头寺组(K_2h)和古新统云龙组(E_1y)组成, 为正常层序; 外来系统地层倒转, 从下到上依次为下白垩统景星组(K_1j)、中侏罗统花开左组(J_2h)、上三叠统

[收稿日期] 2006-05-09; **[修订日期]** 2006-08-18; **[责任编辑]** 曲丽莉。

[基金项目] 国家自然科学基金项目(编号: 40272050, 40472054)和长安大学科技发展基金项目(编号: 0305-1001)联合资助。

[作者简介] 曾 荣(1970 年—), 女, 1999 年毕业于成都理工学院, 获硕士学位, 在读博士生, 讲师, 现主要从事矿床地质的教学和科研工作。

麦初箐组(T_3m)和三合洞组(T_3s),各组岩层之间均分别以次级逆冲断裂接触。外来系统覆盖于原地系统之上。铅锌矿体环绕穹隆核心边缘呈不规则的环带分布,在矿区东部东倾,北部北倾,西部西倾,南部南倾,并且矿体越靠近穹隆顶部越厚。而且,在穹隆顶部由于岩层上拱到一定程度使得穹隆破裂,从而形成放射状张性断裂,使得岩层和矿体呈现出目前所见的断续分布特点。北、西两翼矿体保存较好,东、南两翼因剥蚀残存不全(图1)。矿体受构造和岩性控制明显,主要以板状、层状、似层状产在推覆构造(F_2)中及其上下的景星组(K_{ij} ,上含矿带)和云龙组上段(E_{1y}^b ,下含矿带),层位稳定,与地层整合接触,矿体大小不等,沿走向和倾向有分支伸缩变化。

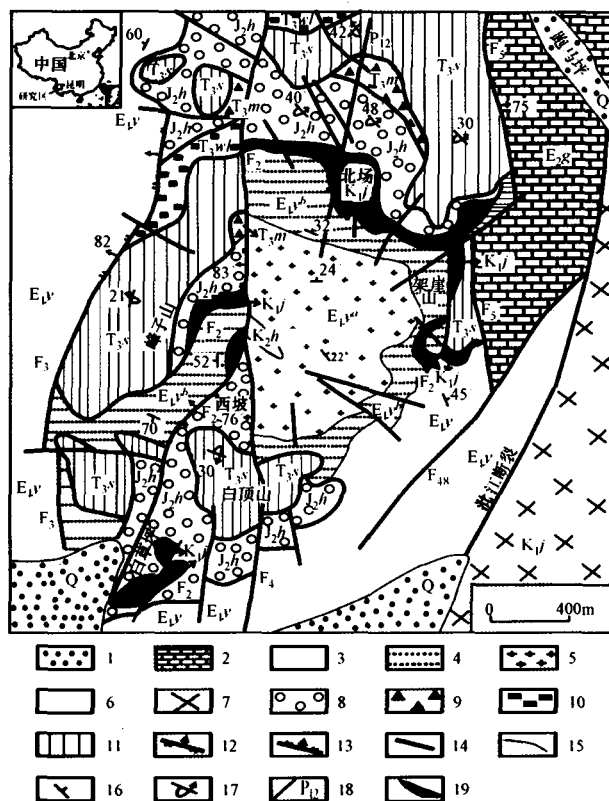


图1 金顶超大型铅锌矿床矿区地质图
(据云南地质三大队,1989)

1—第四系Q;2—始新统果郎组 E_2g ;3—古新统云龙组 E_1y (未分);4—云龙组上段 E_{1y}^b ;5—云龙组下段 E_{1y}^a ;6—中白垩统虎头寺组 K_2h ;7—下白垩统景星组 K_{1j} ;8—中侏罗统花开左组 J_2h ;9—上三叠统麦初箐组 T_3m ;10—上三叠统挖鲁扒组 T_3wl ;11—上三叠统三河洞组 T_3s ;12—逆冲推覆断层;13—正断层;14—性质不明断层;15—地质界线;16—正常岩层产状;17—倒转岩层产状;18—勘探线及编号;19—铅锌矿体

2 矿化阶段

金顶矿区的矿石主要为砂岩型矿石和角砾岩型矿石,此外还有一些呈脉状产出的矿石。在砂岩型矿石中陆源碎屑的成分主要是石英,其次为硅质岩屑以及少量长石,胶结物通常为碳酸盐(主要是方解石)以及一些粘土质成分。在低品位矿石中,胶结物已部分被黄铁矿、闪锌矿、方铅矿和白铁矿等硫化物所交代,也有少量被天青石和重晶石所交代;在高品位矿石中,胶结物几乎全部被硫化物交代。在角砾岩型矿石中,角砾主要由含沥青灰岩组成,该含沥青灰岩和上三叠统三合洞组灰岩相似,此外还有泥岩和粉砂岩角砾。角砾很少被磨圆和分选,多棱角状,直径一般几到几百厘米,大者达几十到几百米。角砾间的空隙常被细砂岩填充,矿化就发生于角砾之间的细砂岩中,角砾通常没有被矿化。

在金顶矿区已发现30多种原生矿物,包括硫化物、氧化物、碳酸盐、硫酸盐、沥青和自然金属。在原生矿中最常见的硫化物是方铅矿、闪锌矿、黄铁矿,有时也可见到白铁矿、黄铜矿、纤锌矿、辉银矿、银黝铜矿,但量很少。硫化物主要为细粒,粒径一般为0.05~0.1mm,但是和晚阶段团块状、脉状方解石共生的方铅矿就比较粗,有时可达1mm。在晚阶段热液脉中,和粗晶天青石、方解石以及石膏共生的黄铁矿也普遍是粗晶的。硫化物一般和石英、天青石、方解石、重晶石、石膏、硬石膏共生在一起。石英主要为陆源碎屑,呈分散状态,少部分是矿化早期的硅化过程形成的。硫酸盐矿物主要是石膏和天青石,至少有两个世代,一种是蒸发沉积形成的,另一种是热液流体矿化形成的^[10]。

根据矿物的共生组合(表1),金顶矿床的热液成矿可分为3个阶段,它们的代表性矿物组合先后分别是:石英—闪锌矿—方铅矿阶段、闪锌矿—方铅矿—天青石阶段、方铅矿—方解石—天青石—石膏阶段。第一、第二阶段形成的方铅矿、闪锌矿粒度细,呈微晶—浸染状,第三阶段形成的方铅矿是粗粒的,以脉状、团块状、晶簇状和方解石、天青石生长在一起。黄铁矿、天青石在每个阶段都有,但是大量生成于第二和第三阶段。黄铁矿在第一阶段多呈微晶—胶状与天青石、闪锌矿、方铅矿共生,可被闪锌矿、方铅矿交代,第三阶段多呈中—粗自形晶,脉状、团块状与方解石、天青石及中—粗晶方铅矿共生。第三阶段的天青石主要呈脉状和沥青共生,不同于地层中沉积形成的天青石以及矿石中呈浸染状分布的

表1 金顶铅锌矿床热液矿化阶段划分表

成矿阶段	石英—闪锌矿—方铅矿阶段	闪锌矿—方铅矿—天青石阶段	方铅矿—方解石—天青石—石膏阶段
石英			
闪锌矿			
方铅矿			
黄铁矿			
天青石			
重晶石			
白铁矿			
方解石			
石膏			
沥青			

热液天青石。

3 成矿流体特征^[14]

为了了解金顶矿区成矿流体的性质,作者对金顶矿区矿石矿物闪锌矿以及和矿石矿物共生的脉石矿物石英、天青石、方解石及石膏中的原生流体包裹体进行了观察研究。发现金顶矿区流体包裹体主要为椭圆形,其次为不规则形态,大小为2~16 μm ,平均为8 μm ,包裹体多为气液两相,气/液为10%~80%。

对金顶矿区流体包裹体进行显微测温,获得73个冰点温度和94个均一温度(表2),均一温度为54℃~309℃,平均143℃。其中石英为157℃~250℃,平均182℃;天青石为98℃~309℃,平均174℃;闪锌矿为115℃~234℃,平均172℃;方解石为59℃~256℃,平均111℃;石膏为54℃~141℃,平均106℃。从矿物与均一温度分布柱状图(图2)中可以看出,均一温度有3个峰值:170℃~190℃峰值,主要是石英、闪锌矿和天青石;110℃~140℃峰值,主要是闪锌矿、天青石和方解石;80℃~100℃峰值是方解石和石膏。这3个峰值和由岩石学以及矿物共生组合所得到的热液矿化阶段是一致的。从地理位置看,在跑马坪地区均一温度为133℃~234℃,平均184℃;架崖山地区为126℃~309℃,平均194℃;北场为112℃~240℃,平均146℃;西坡为75℃~133℃,平均101℃;峰子山54℃~120℃,平均83℃。如此可见,在金顶矿区均一温度有一个由东向西、由北向南逐渐减弱的趋势。

冰点温度为-16℃~-1℃,由冰点温度所获得的包裹体的盐度为1.6%~18.0%,平均6.0%。其中石英为5.6%~11.7%,平均8.7%;天青石为1.6%~14.7%,平均6.7%;闪锌矿为4.1%~18.0%,平均9.7%;方解石为1.7%~6.1%,平均

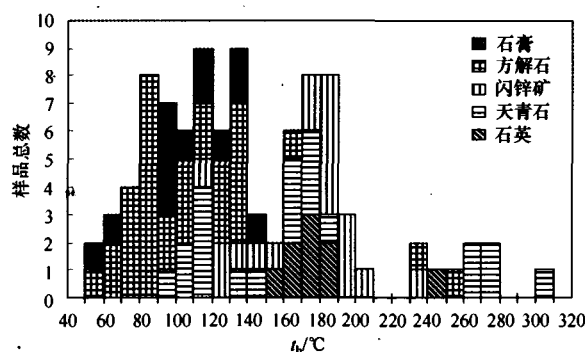


图2 金顶矿区矿物与均一温度分布柱状图

4.0%;石膏为1.6%~5.5%,平均3.6%。从矿物与盐度分布柱状图(图3)可以看出,盐度有两个峰值:一个峰值为4%~5%,另一个峰值为9%~10%。从地理位置看,在跑马坪地区盐度为4.8%~10.7%,平均9.0%;架崖山为3.2%~14.1%,平均6.8%;北场1.6%~11.7%,平均4.1%;西坡2.8%~16.4%,平均5.7%;峰子山1.7%~18.0%,平均6.6%。从东向西盐度稍有降低,但是从北向南盐度却是增加的。

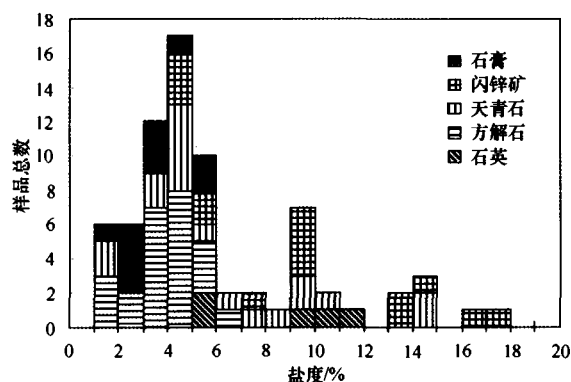


图3 金顶矿区矿物与盐度分布柱状图

表 2 金顶 Pb-Zn 矿区流体包裹体显微测温数据

样品号	采样地点	矿物	$t_{ice}/^{\circ}\text{C}$	$t_h/^{\circ}\text{C}$	盐度/%
Pmp05-6	跑马坪	石英	-8.5	181~189	9.8
		天青石	-7.9	181	9.1
Pmp20-1	跑马坪	闪锌矿	-8.6~-8.2	204~234	9.5~9.9
		天青石	-9.3~-3.9	133~170	4.8~10.7
Jysh004	架崖山	石英	-4.9~-4.7	165~250	5.6~5.9
Jysh48-1	架崖山	天青石	-7.9~-3.7	262~309	4.6~9.1
Jysh8-09	架崖山	闪锌矿	-12.0~-4.0	174~196	4.9~13.6
		天青石	-6.2	280	8.4
Jysh37-5	架崖山	闪锌矿	-12.4~-4.2	182~194	5.1~14.1
		天青石	-3.5	262	4.3
Jysh51-h	架崖山	闪锌矿	-13.0~-8.0	126~158	9.3~13.6
		天青石	-6.2~-2.5	161~180	3.2~7.1
		石英	-9.1	166	10.5
Jysh01-9	架崖山	方解石	-3.8~-3.1	140~256	3.9~4.7
Jysh21	架崖山	石膏	-3.2~-3.1	138~141	3.9~4.0
Beh25-4	北场	石英	-10.2	157	11.7
		闪锌矿	-8.5	175~190	9.8
		天青石	-5.1	180	6.1
Beh60-3	北场	方解石	-4.1~-1.2	135~240	1.8~5.0
Beh206	北场	天青石	-2.8~-1.0	115~146	1.6~3.6
Beh006	北场	闪锌矿	-3.3	143	4.1
		天青石	-4.0	161	4.9
Beh43	北场	方解石	-2.8~-1.1	130~135	1.7~3.6
Beh52-5	北场	石膏	-2.1~-1.0	112~132	1.6~2.8
Xp00-9	西坡	闪锌矿	-3.3	133	4.1
		天青石	-12.8	106	14.5
Xp01-2	西坡	方解石	-4.9~-3.5	91~129	4.3~5.9
Xp99-23	西坡	石膏	-4.4~-2.1	92~101	2.8~5.3
Xp-007	西坡	闪锌矿	-14.5	128	16.4
		天青石		105	
Xp-009	西坡	方解石	-3.5~-2.4	87~101	3.1~4.3
Xp56-12	西坡	方解石	-4.6~-2.3	75~87	3.0~5.5
Fzsh55	峰子山	闪锌矿	-16.0	115	18.0
		天青石	-13.0	98	14.7
Fzsh102	峰子山	方解石	-5.1~-1.1	59~120	1.7~6.1
Fzsh01-22	峰子山	石膏	-4.6~-1.9	54~98	2.6~5.5

注:① t_{ice} —冰点温度($^{\circ}\text{C}$), t_h —均一温度($^{\circ}\text{C}$);② 该测试由长安大学流体包裹体实验室完成,使用仪器为 LINKAM-TMS94 冷热台。

4 成矿流体的稀土元素

流体包裹体是成岩成矿流体在矿物结晶过程中,被包裹在矿物晶格缺陷或穴窝中至今尚在主矿物中封存并与主矿物有着相界限的那一部分物质,它是一个独立的封闭体系^[15]。因此,流体包裹体中微量元素的变化应该不受寄主矿物种类的影响,而且也有研究表明石英、黄铁矿以及方铅矿中的稀土元素主要来自流体包裹体^[16-17],并且证明了同一成矿阶段不同寄主矿物的流体包裹体稀土配分模式是类似的^[17]。由此可见,成矿流体稀土元素的研究对研究矿床的流体性质是有帮助的。

为了研究金顶矿区成矿流体的性质,作者挑选了金顶矿区不同矿化阶段的单矿物进行流体包裹体的微量元素研究。应用热爆提取技术^[18]和电感耦合等离子质谱(ICP-MS)方法^[19]对包裹体中流体组分的稀土元素组成进行了分析。

从金顶矿区成矿流体的稀土元素成分(表3)以及REE配分模式(图4)可以看出,在不同矿化阶段稀土元素总量差异很大:在第一矿化阶段,稀土总量低, $\Sigma\text{REE}=0.32\times10^{-9}\sim3.20\times10^{-9}$,平均为 1.34×10^{-9} ;在第二矿化阶段,稀土总量较高, $\Sigma\text{REE}=2.93\times10^{-9}\sim10.00\times10^{-9}$,平均为 6.28×10^{-9} ;在第三矿化阶段,稀土总量最高, $\Sigma\text{REE}=83.71\times10^{-9}$

表3 金顶矿区不同矿化阶段单矿物流体包裹体稀土元素组成及参数

 $\omega_B/10^{-9}$

样品号	成矿阶段	样品性质	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
JY15	第一阶段	脉石英	0.11	0.20	0.02	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
JY16		脉石英	0.01	0.06	0.01	0.18	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01
JY17		脉石英	0.74	1.37	0.17	0.60	0.11	0.02	0.08	0.01	0.05	0.01	0.03	0.01	0.02
NC14	第二阶段	粉尘状方铅矿	2.18	4.24	0.51	1.72	0.33	0.08	0.50	0.07	0.24	0.04	0.07	0.01	0.02
BC54		中细粒方铅矿	1.23	1.77	0.31	1.40	0.23	0.09	0.33	0.12	0.18	0.05	0.08	0.03	0.05
J-23		条带状构造细粒方铅矿	0.58	1.21	0.16	0.57	0.10	0.03	0.13	0.03	0.07	0.01	0.02	0.00	0.01
J-7-21	第三阶段	黄铁矿	119.3	370.5	38.0	108.8	21.4	6.34	25.4	2.90	12.24	2.02	4.04	0.41	1.56
NC5		黄铁矿	14.52	41.38	4.29	13.57	2.49	0.74	2.78	0.37	1.71	0.32	0.77	0.11	0.59
BC60		粗晶方铅矿	13.73	39.74	5.53	20.33	4.05	1.22	4.07	0.57	2.69	0.45	0.97	0.13	0.67
样品号	成矿阶段	样品性质	Lu	ΣREE	Y	LREE	HREE	LREE/HREE	δEu	δCe	(La/Yb) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N		
JY15	第一阶段	脉石英	0.01	0.49	0.207	0.43	0.06	6.75	1.81	0.95	9.08	4.95	0.50		
JY16		脉石英	0.00	0.32	0.058	0.26	0.05	4.85	4.73	1.32	2.20	1.83	0.20		
JY17		脉石英	0.01	3.20	0.262	3.00	0.20	14.93	0.48	0.89	36.85	6.70	3.80		
NC14	第二阶段	粉尘状方铅矿	0.00	10.00	1.535	9.06	0.95	9.57	0.64	0.92	121.22	6.71	27.72		
BC54		中细粒方铅矿	0.03	5.91	1.669	5.04	0.87	5.82	1.06	0.66	23.63	5.32	6.27		
J-23		条带状构造细粒方铅矿	0.00	2.93	0.601	2.65	0.29	9.26	0.80	0.92	48.42	6.05	10.83		
J-7-21	第三阶段	黄铁矿	0.18	713.14	84.242	664.35	48.79	13.62	0.84	1.29	76.51	5.57	16.32		
NC5		黄铁矿	0.08	83.71	8.147	76.98	6.73	11.43	0.86	1.22	24.52	5.84	4.69		
BC60		粗晶方铅矿	0.08	94.22	16.469	84.60	9.63	8.79	0.91	1.07	20.46	3.39	6.07		

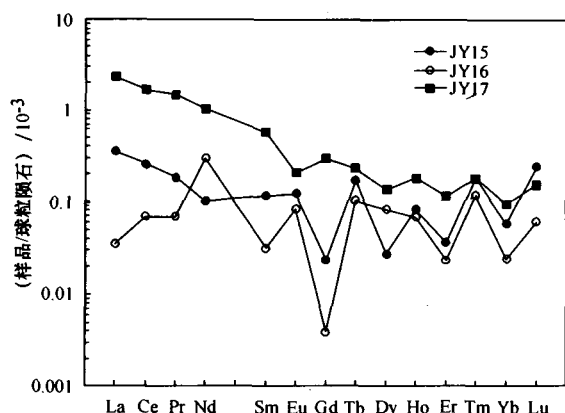
注:① 热爆提取由中国科学院地质与地球物理研究所朱和平和长安大学曾荣完成,电感耦合等离子质谱(ICP-MS)委托核工业地质测试研究中心进行;② * 单位为1。

$\sim 713.14 \times 10^{-9}$, 平均为 297.03×10^{-9} 。ΣREE 的这种变化也进一步说明流体包裹体的 REE 不受或很少受到寄主矿物种类的影响。因为第一矿化阶段流体包裹体寄主矿物主要是石英,而第二、第三矿化阶段流体包裹体寄主矿物主要是方铅矿和黄铁矿,如果流体包裹体的 REE 受到寄主矿物的明显影响,则不会出现伴随矿化从早到晚成矿流体 ΣREE 依次升高的情况,因为石英相对于硫化物矿物 ΣREE 要高的多。

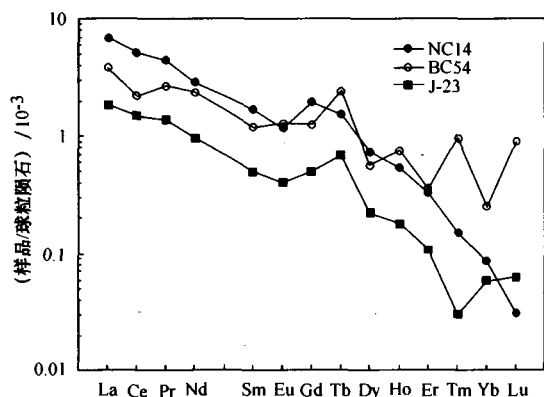
不同矿化阶段成矿流体的轻、重稀土的分异程度差别较大:在第一矿化阶段, LREE 值为 $(0.26 \sim 3.00) \times 10^{-9}$, 平均为 1.23×10^{-9} , HREE 的值为 $(0.05 \sim 0.20) \times 10^{-9}$, 平均为 0.11×10^{-9} , LREE/HREE 比值的变化范围为 4.85 ~ 14.93, 平均为 8.84, $(La/Yb)_N$ 为 2.20 ~ 36.85, REE 配分曲线轻微右倾,轻微富集轻稀土,轻重稀土的分馏程度较低;在第二矿化阶段, LREE 值为 $(2.65 \sim 9.06) \times 10^{-9}$, 平均为 5.58×10^{-9} , HREE 的值为 $(0.29 \sim 0.95) \times 10^{-9}$, 平均为 0.70×10^{-9} , LREE/HREE 比值的变化范围为 5.82 ~ 9.57, 平均为 8.22, $(La/Yb)_N$ 为 23.63 ~ 121.22, REE 配分曲线明显右倾,轻稀土相对富集;在第三矿化阶段, LREE 值为 $(76.98 \sim 664.35) \times 10^{-9}$, 平均为 275.31×10^{-9} ,

HREE 的值为 $(6.73 \sim 48.79) \times 10^{-9}$, 平均为 21.72×10^{-9} , LREE/HREE 比值的变化范围为 8.79 ~ 13.62, 平均为 11.28, $(La/Yb)_N$ 为 20.46 ~ 76.51, REE 配分曲线显著右倾,轻稀土较强富集。并且在不同矿化阶段,轻、重稀土内部分异程度也分别不同:在第一矿化阶段,轻稀土分馏程度 $(La/Sm)_N$ 为 1.83 ~ 6.70, 重稀土的分馏程度 $(Gd/Yb)_N$ 为 0.20 ~ 3.80, 轻稀土分馏程度明显大于重稀土分馏程度;在第二矿化阶段,轻稀土分馏程度 $(La/Sm)_N$ 为 5.32 ~ 6.71, 重稀土的分馏程度 $(Gd/Yb)_N$ 为 6.27 ~ 27.72, 重稀土分馏程度明显大于轻稀土分馏程度;在第三矿化阶段,轻稀土分馏程度 $(La/Sm)_N$ 为 3.39 ~ 5.84, 重稀土的分馏程度 $(Gd/Yb)_N$ 为 4.69 ~ 16.32, 重稀土分馏程度大于轻稀土分馏程度。不同矿化阶段成矿流体轻、重稀土的分异以及轻、重稀土内部分异的不同反映了不同矿化阶段成矿流体性质的不同。

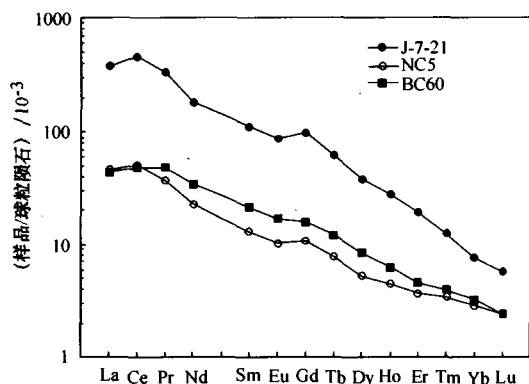
由于钕在还原条件下呈 Eu^{2+} 状态与其他三价稀土元素分离,而铈在还原条件下呈 Ce^{3+} 状态,只有在氧化条件下才呈 Ce^{4+} 状态与其他稀土元素分离^[17]。而在金顶矿区,在第一成矿阶段, δEu 变化范围为 0.48 ~ 4.73, 钕异常明显,可正可负,但以正异常为主;铈异常不明显(δCe 变化范围为 0.89 ~



第一矿化阶段成矿流体稀土元素球粒陨石标准化分布型式图



第二矿化阶段成矿流体稀土元素球粒陨石标准化分布型式图



第三矿化阶段成矿流体稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

图4 金顶矿区不同成矿阶段成矿流体稀土元素模式图

1.32)。在第二成矿阶段,铕异常明显(δEu 变化范围为0.64~1.06),可正可负,但以负异常为主;铈异常不明显(δCe 变化范围为0.66~0.92)。在第三成矿阶段,铕轻微负异常, δEu 变化范围为0.84~0.91,平均为0.87;铈轻微正异常, δCe 变化范围为1.07~1.29,平均为1.19。从第一矿化阶段到第三矿化阶段,铕都有异常,而铈只在第三矿化阶段才有轻微正异常,由此也可看出,从第一矿化阶段到第三矿化阶段,成矿流体的物理化学条件有从还原环境

向氧化环境转化的趋势。

从第一矿化阶段的REE配分模式可以看出,重稀土吻合得很好,而轻稀土吻合较差,这可能是由于稀土总量太少,测试分析的误差造成的。随着稀土总量的增加,第二矿化阶段的REE配分模式吻合的就比较好,而第三矿化阶段的REE配分模式就吻合的非常好了。

5 认识

通过对金顶矿区流体包裹体的显微测温 and 流体的稀土元素研究,获得以下认识:

1) 金顶矿区成矿流体均一温度为 54°C ~ 309°C ,平均 143°C ,盐度为1.6%~18.0%,平均6.0%,并且从矿区的东部向西部、由北部向南部温度逐渐降低,而盐度从东部向西部稍有降低,但是从北部向南部却是增加的。

2) 从第一矿化阶段到第三矿化阶段,稀土总量和LREE/HREE都是逐步增加的,轻稀土富集程度逐步增强,并且轻、重稀土内部分异程度也由轻稀土分馏程度大于重稀土分馏程度变为重稀土分馏程度大于轻稀土分馏程度,反映出不同矿化阶段成矿流体的性质是不同的。

3) 从第一矿化阶段到第三矿化阶段,铕都有异常,而铈只在第三矿化阶段才有轻微正异常,反映成矿流体的物理化学条件有从还原环境向氧化环境转化的趋势。

[参考文献]

- [1] 施加辛,易凤煌,文其铎. 兰坪金顶铅锌矿床的岩矿特征及成因[J]. 云南地质, 1983, 2(3): 179-195.
- [2] 白嘉芬,王长怀,纳荣仙. 云南金顶铅锌矿床地质特征及成因初探[J]. 矿床地质, 1985, 4(1): 1-9.
- [3] 高广立. 论金顶铅锌矿床的地质问题[J]. 地球科学, 1989, 14(5): 468-475.
- [4] 吴淦国,吴习东. 云南金顶铅锌矿床构造演化及矿化富集规律[J]. 地球科学, 1989, 14(5): 477-486.
- [5] 赵兴元. 云南金顶铅锌矿床成因研究[J]. 地球科学, 1989, 14(5): 523-530.
- [6] 胡明安. 试论岩溶型铅锌矿床的成矿作用及其特点——以云南金顶矿床为例[J]. 地球科学, 1989, 14(5): 531-537.
- [7] 尹汉辉,范蔚茗,林 舸. 云南兰坪—思茅地洼盆地演化的深部因素及幔-壳复合成矿作用[J]. 大地构造与成矿学, 1990, 14(2): 113-124.
- [8] Xue C J, Wang D H, Chen Y C, et al. Helium, argon, and xenon isotopic compositions of ore-forming fluids in Jinding-Baiyangping polymetallic deposits, Yunnan, Southwest China[J]. Acta Geologica Sinica, 2000, 74: 521-528.
- [9] 薛春纪,陈毓川,杨建民,等. 滇西北兰坪铅锌银铜矿田含烃

- 富 CO₂ 成矿流体及其地质意义[J]. 地质学报, 2002, 76(2): 244 - 253.
- [10] 薛春纪, 陈毓川, 杨建民, 等. 金顶铅锌矿床地质 - 地球化学[J]. 矿床地质, 2002, 21(3): 270 - 277.
- [11] Xue C J, Chen Y C, Wang D H, et al. Geology and isotopic composition of helium, neon and metallogenic age of the Jinding and baiyangping ore deposits northwest yunnan, China[J]. Sciences in China (series D), 2003, 46: 789 - 800.
- [12] 薛春纪, 陈毓川, 杨建民, 等. 滇西兰坪盆地构造体制和成矿背景分析[J]. 矿床地质, 2002, 21(1): 36 - 44.
- [13] 薛春纪, 陈毓川, 王登红, 等. 滇西北金顶和白秧坪矿床地质和 He、Ne、Xe 同位素组成及成矿时代[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(4): 315 - 322.
- [14] Xue C J, Zeng R, Liu S W, et al. Mineralization stages and fluid processes in the giant Jinding Zn - Pb deposit, western Yunnan, China [A]. Mao J, Bierlein F P. Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge [C]. Proceedings of 8th Biennial SGA Meeting, Beijing, China, 2005: 203 - 206.
- [15] 卢焕章, 范宏瑞, 倪 培, 等. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 20 - 25.
- [16] 范建国, 倪 培, 苏文超, 等. 辽宁四道沟热液金矿床中石英的稀土元素特征及意义[J]. 岩石学报, 2000, 16(4): 587 - 590.
- [17] 李厚民, 沈远超, 毛景文, 等. 石英、黄铁矿及其包裹体的稀土元素特征——以胶东焦家式金矿为例[J]. 岩石学报, 2003, 19(2): 267 - 274.
- [18] 朱和平, 王莉娟, 刘建明. 不同成矿阶段流体包裹体气相成分的四极质谱测定[J]. 岩石学报, 2003, 19(2): 314 - 318.
- [19] 苏文超, 漆 亮, 胡瑞忠, 等. 流体包裹体中稀土元素的 ICP - MS 分析研究[J]. 科学通报, 1998, 43(10): 1094 - 1098.

REE OF FLUID INCLUSION AND ORE - FORMING FLUIDS IN THE GIANT JINDING Pb - Zn DEPOSIT, YUNNAN

ZENG Rong¹, XUE Chun - ji², LIU Shu - wen¹, GAO Yong - bao¹, ZHU He - ping³

(1. College of Earth Science and Land Resources, Chang'an University, Xi'an 710054;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083; 3. State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract: REE and microthermometric analyses of fluid inclusions in the Jinding Pb - Zn deposit show that homogenization temperature of ore - forming fluid is at 54°C ~ 309°C and 143°C in average, and its salinity ($\omega(\text{NaCl})$) is at 1.6% ~ 18.0% and 6.0% in average. The results suggest that temperature in the ore district decreases from east to west and from north to south, and salinity in the ore district decreases from east to west but increases from north to south. REE of fluid inclusions in the Jinding Pb - Zn deposit indicate that ΣREE and LREE/HREE increase gradually and the enrichment magnitude of LREE reinforces steadily from the first mineralization stage to the third one. It also shows that differentiation of LREE and HREE changes from stronger LREE fractionation to stronger HREE fractionation, and there is a changing trend of fluid from reducing environment to oxidizing environment.

Key words: Jinding Pb - Zn deposit, fluid inclusion, microthermometry, REE