

新疆彩霞山铅锌矿床稀土元素地球化学研究

王虹^{1,2}, 桑少杰³, 彭明兴³, 梁婷¹, 高景刚¹, 王崇礼¹

(1 长安大学地球科学与资源学院, 陕西西安 710054; 2 新疆维吾尔自治区国土资源厅, 新疆乌鲁木齐 830000; 3 新疆维吾尔自治区地质矿产开发局第一地质大队, 新疆昌吉 831100)

摘要: 通过对新疆彩霞山铅锌矿床不同类型岩石和矿石的稀土元素地球化学特征的研究, 探讨了岩石和矿石中稀土元素地球化学行为。结果显示, 矿床中稀土元素的分布是不均匀的。在稀土元素配分模式上, 活化的白云石大理岩与矿石是相近的, 具有显著的 δEu 正异常和弱的 δCe 负异常, 表明成矿与白云石大理岩的关系密切。同时, 根据稀土元素特征的变化, 提出了矿床的形成可能与岩浆活动有关的研究思路。

关键词: 稀土元素; 地球化学; 岩石; 彩霞山铅锌矿床

中图分类号: P618.4; P618.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2009)02-0142-06

Geochemistry of Rare Earth Elements in the Caixiashan Pb-Zn Deposit, Xinjiang

WANG Hong^{1,2}, SANG Shao-jie³, PENG Ming-xing³,
LIANG Ting¹, GAO Jing-gang¹, WANG Chong-li¹

(1. School of Earth Sciences and Resource, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
2. Bureau of Land and Resources, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830000, Xinjiang, China;
3. No. 1 Geological Party of the Bureau of Geology and Mineral Exploration, Xinjiang Uygur
Autonomous Region, Changji 831100, Xinjiang, China)

Abstract Through the geochemical analysis of the rare earth elements in different types of rocks and ores from Caixiashan Pb-Zn deposit, the geochemical behavior in rocks and ores of rare earth elements is researched. The results show that the distribution of rare earth elements in this deposit is inhomogeneous. The rare earth element pattern of activated dolomite marbles are similar to that of ores which is characterized by remarkable δEu positive anomaly and weak δCe negative anomaly, which indicates that the mineralization has close relation to the dolomite marble. At the same time, the authors consider that the formation of the deposit may be related with the magmatic activity, according to the variation characteristics of rare earth elements.

Key words: rare earth element; geochemistry; rock; Caixiashan Pb-Zn deposit

0 引言

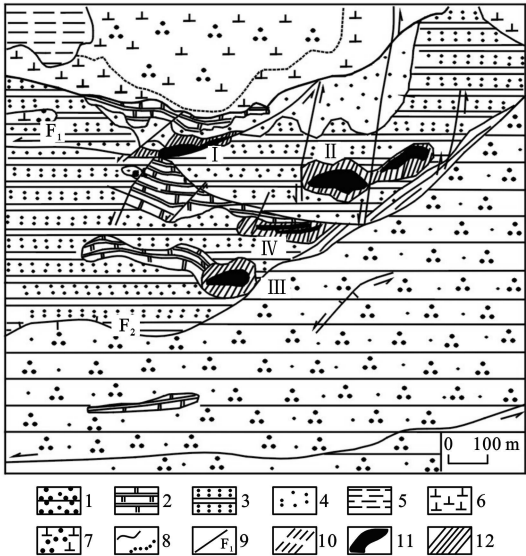
稀土元素(Rare Earth Element, REE)作为具有相同或相近的原子结构和离子半径的元素组, 在地质和地球化学作用过程的整体活动中有良好的示踪作用, 他们的分馏特征能够灵敏地反映地质-地球化学作用的性质^[1-4]。这一特点已广泛应用在岩石成因、成矿物源示踪、成岩成矿的物理化学条件等方面。彩霞山铅锌矿床位于新疆鄯善县东南 160 km

处, 是目前在中天山地区发现的唯一可达大型规模的铅锌矿床。其成矿地质背景、矿床特征独特, 但矿床的成因研究还比较薄弱^[5-12]。笔者通过对彩霞山矿床岩石和矿石稀土元素地球化学特征的研究, 为进一步的矿床成因研究提供新的资料。

1 矿床地质特征

彩霞山铅锌矿床地处准噶尔板块与塔里木板块结合部位的阿其克库都克区域性大型推覆断裂

以南。按照张良臣等^[13]的划分, 其被归属于巴仑台—星星峡离散地体中。矿区出露的地层为一套变质的碎屑岩和碳酸盐岩建造。根据 1 : 200 000 区域地质报告^[13], 该套地层归属于元古界长城系星星峡群。而新疆第一地质大队^[11]根据岩性和变质程度, 将其划归为青白口系卡瓦布拉克群。区域上该套地层可划分为两个岩性段, 彩霞山铅锌矿主要赋存于第一岩性段中。该岩性段分为两层: 第一层, 厚度约 1 575 m; 第二层, 分布在矿区南部(图 1), 厚达 1 494 m。根据岩石组合和分布, 第一层可以划分为 3 个岩石组合: 下部为含碳石墨黝帘绢云板岩、粉砂质板岩及硅质板岩夹含石墨多期活化、透闪石化矿化白云石大理岩(QnK^{1-1mb}), 为矿体的矿化容矿围岩; 中部为第一层的主体, 遍及整个矿区, 主要由含碳变质粉砂岩、黝帘绢云板岩夹硅质板岩(QnK^{1-1st})等组成, 少见或未见白云石大理岩夹层, 也未见矿化富集和强蚀变作用再造; 上部为石墨黝帘绢云板岩、变质粉砂岩、粉砂质板岩、含石墨硅质板岩夹蚀变矿化含石墨白云石大理岩(QnK^{1-1Qst})、硅质白云石大理岩。而含石墨多期活化的白云石大理岩或活化硅质白云石大理岩, 则是



1—糜棱岩化变质的石英砂岩、变质粉砂岩; 2—白云石大理岩; 3—变质粉砂岩、绢云黝帘板岩夹硅质板岩; 4—变质粉砂岩、含石墨硅质板岩夹蚀变的白云石大理岩; 5—长城系星星峡组二辉麻粒岩; 6—石炭纪斜长花岗岩; 7—石炭纪石英闪长岩; 8—地质界限及相变界限; 9—断层及编号; 10—糜棱岩化带; 11—铅锌矿脉及编号; 12—矿化蚀变带; II—矿体编号; 引自文献^[12]

图 1 彩霞山铅锌矿矿区地质
Fig. 1 Sketch Geological Map of Caixiashan Pb-Zn Deposit, Xinjiang

赋矿围岩。第二层为普遍遭受糜棱岩化的变质石英砂岩(QnK^{1-2ss})、变质粉砂岩为主的碎屑岩沉积建造, 但局部亦见夹有微晶白云石大理岩透镜体。

区内岩浆活动较为强烈, 在矿区北部出露华力西中期石英闪长岩、斜长花岗岩以及闪长玢岩脉、石英二长岩脉、辉长岩脉等组成的复式岩体。目前还没有显示岩体与矿体直接的接触关系, 矿化带主要沿岩体南缘展布。区内断裂构造发育, 北部为阿其克库都克区域性大断裂, 并伴随有次级或派生断裂。按断裂展布方向大致可归为 3 组: 北东东向、北北东—北东向、北西向, 其中以北东东向与地层走向大致一致的顺层断裂较为发育。

矿区圈出 5 条矿脉, 重点研究的 II₃ 号矿体是由 25 个子矿体组成, 矿体形态呈脉状、透镜状。主要原生矿石矿物以闪锌矿、方铅矿、黄铁矿和磁黄铁矿为主, 其次为毒砂、黄铜矿以及微量硫盐矿物—块辉锑铅矿、银黝铜矿、车轮矿、砷红银矿、硫铁锑矿等; 氧化矿物主要为铅矾、褐铁矿、黄钾铁矾、白铁矿、菱锌矿等; 脉石矿物主要为白云石、方解石、透闪石, 其次为滑石、石英、石墨等。矿石构造表现为热液充填交代形成的脉状构造、角砾状构造、网脉状构造、块状构造、似层纹状构造、稀疏浸染状构造; 动力剪切变形作用下形成的流纹状构造、碎裂构造。矿石结构有他形粒状结构、自形粒状结构、反应边结构; 交代残留结构、碎斑结构等。围岩蚀变较发育, 有碳酸盐化、黝帘石化、绿泥石化、透闪石化及绢云母化等。细脉、网脉状碳酸盐脉、石英脉充填于构造裂隙中。根据矿体以及矿物之间的相互关系, 将划分为 3 个成矿期: 即热液成矿期、动力变质成矿期、表生成矿期。热液成矿期进一步划分为透闪石—石墨成矿阶段、黄铁矿成矿阶段、黄铁矿—闪锌矿成矿阶段、硫盐—方铅矿成矿阶段。

2 测试样品及结果

研究测试样品 14 件, 其中 3 件侵入岩样品来自矿区北部华力西期石英闪长岩—斜长花岗岩复式岩体(b7、b9、b11); 赋矿围岩样品 7 件, 经显微镜下鉴定, 可以分为两大类: 一是变质碎屑岩类, 包括变质石英砂岩(b1)、石墨绢云黝帘板岩夹变质粉砂岩(zk3801-b18)、碳质绢云黝帘板岩(zk3002-b6); 二是碳酸盐岩类, 包括含碳多期活化白云石大理岩(b21)、多期活化白云石大理岩(zk3001-b20)、多期

次滑石千糜岩(zk3001-b2)、透闪石千糜状白云石大理岩(zk3001-b22);不同类型矿石样品 7 件,全部为采自钻孔中。稀土元素分析由中国地质科学

院国家地质测试中心采用等离子光谱完成,分析结果及相关参数见表 1、2。稀土元素球粒陨石标准化配分模式见图 2。

表 1 新疆彩霞山铅锌矿区有关岩石的稀土元素分析结果

Tab. 1 REE Analytical Results of Different Rocks in Caixiashan Pb-Zn Deposit Xinjiang										$w_B/10^{-6}$
样号	b7	b9	b11	b1	zk3801-b 18	zk3002-b6	b21	zk3001-b20	zk3001-b21	zk 3001-b22
La	25.00	23.30	27.50	4.58	45.60	48.30	1.23	2.08	1.16	1.89
Ce	49.40	46.00	54.80	7.00	99.20	96.90	2.47	3.66	2.51	4.02
Pr	5.85	5.33	6.57	0.85	11.40	10.50	0.29	0.50	0.35	0.64
Nd	22.90	20.60	24.90	2.85	44.80	36.70	1.09	2.04	1.58	3.30
Sm	4.91	4.36	5.09	0.55	12.70	6.88	0.30	0.63	0.57	1.69
Eu	1.23	1.14	1.30	0.07	1.78	0.76	0.14	0.38	1.79	0.34
Gd	4.23	3.59	4.37	0.50	12.30	5.25	0.27	0.71	0.76	2.36
Tb	0.67	0.59	0.71	0.09	1.92	0.90	0.05	0.10	0.11	0.37
Dy	3.72	3.29	3.96	0.65	10.30	5.74	0.26	0.61	0.58	2.01
Ho	0.79	0.67	0.80	0.16	1.93	1.19	0.05	0.12	0.08	0.38
Er	2.20	1.93	2.27	0.47	5.37	3.64	0.16	0.32	0.19	0.94
Tm	0.30	0.27	0.32	0.07	0.70	0.52	0.02	0.04	0.03	0.12
Yb	1.86	1.69	2.05	0.47	4.45	3.52	0.13	0.25	0.13	0.58
Lu	0.29	0.27	0.31	0.08	0.64	0.51	0.02	0.04	0.02	0.08
ΣREE	123.35	113.03	134.95	18.39	253.09	221.31	6.48	11.48	9.86	18.72
ΣCe	109.29	100.73	120.16	15.90	215.48	200.04	5.52	9.29	7.96	11.88
ΣY	14.06	12.30	14.79	2.49	37.61	21.27	0.96	2.19	1.90	6.84
ΣCe/ΣY	7.77	8.19	8.12	6.39	5.73	9.40	5.75	4.24	4.19	1.74
δEu	0.83	0.88	0.84	0.41	0.44	0.39	1.50	1.74	8.31	0.52
δCe	0.96	0.97	0.96	0.83	1.02	1.01	0.97	0.84	0.92	0.86
(La/Lu) _N	8.95	8.96	9.21	5.94	7.40	9.83	6.39	5.40	6.02	2.45
(La/Yb) _N	9.08	9.32	9.07	6.59	6.93	9.27	6.39	5.62	6.03	2.20

矿区北部复式岩体呈北东—南西向伸长的岩株,与卡瓦布拉克组地层和区域构造线谐和一致,岩体中相变较为清楚,内部相变岩石为贫石英黑云角闪斜长花岗岩,边缘相为黑云角闪石英闪长岩。该侵入岩体中 3 件样品稀土元素分布模式是一致的(图 2),ΣREE 为(113.03~134.95)×10⁻⁶,平均为 123.78×10⁻⁶,ΣCe/ΣY 为 7.77~8.19,平均为 5.33;(La/Yb)_N 为 9.07~9.32,平均为 9.17。说明轻重稀土元素之间发生明显的分馏作用,轻稀土相对富集。δEu 为 0.825~0.881,δCe 为 0.96~0.97,显示 Eu、Ce 亏损微弱,稀土配分模式属于轻稀土富集型的右倾配分特点。且(La/Lu)_N、(La/Yb)_N 值随着岩石中 SiO₂ 含量增高而增大,这与中酸性岩浆正常演化过程中稀土分异模式一致。

3 件变质碎屑岩的稀土元素质量分数 ΣREE 变化较大,为(18.39~253.09)×10⁻⁶,平均为 164.26×10⁻⁶;ΣCe/ΣY 为 5.73~9.40,平均为 7.17;(La/Yb)_N 为 6.59~9.27,平均为 7.60;显示轻重稀土之间显著的分异作用。δEu 为 0.39~0.44,δCe 为 0.83~1.02,显示明显的负 Eu 异常和不明显 Ce 异常。稀土元素配分模式属于轻稀土富集右倾“V”折线型(图 2)。此外,还发现随着岩石中石英和泥质组分的增多,ΣREE 同步递减^[12]。

4 件白云石大理岩类岩石稀土元素质量分数 ΣREE 为(6.48~18.72)×10⁻⁶,平均为 11.63×10⁻⁶;ΣCe/ΣY 为 1.74~5.75,平均为 3.98;(La/Yb)_N 为 2.20~6.39,平均为 5.06;显示轻重稀土之间略有分异作用。除了 zk3001-b22透闪石千糜

表 2 新疆彩霞山铅锌矿区矿石的稀土元素分析结果

Tab. 2 REE Analytical Results of Different Ores in Caixiashan Pb-Zn Deposit Xinjiang							$w_B/10^{-6}$
样号	zk 3801-b14	zk3801-b13	zk3004-b8	zk2601-b3	zk3005-b3	zk3402-b2	zk 3002-b4
La	4.21	2.50	8.58	3.50	1.99	3.30	1.87
Ce	7.14	4.92	14.70	8.14	3.80	8.59	4.11
Pr	0.83	0.70	1.66	1.18	0.41	1.24	0.51
Nd	3.38	3.37	6.42	5.09	1.62	5.64	2.10
Sm	1.11	1.31	1.70	1.77	0.43	2.18	0.67
Eu	0.67	0.87	1.22	1.34	0.36	2.27	0.59
Gd	1.15	1.39	1.85	1.84	0.50	2.33	0.66
Tb	0.14	0.23	0.26	0.29	0.08	0.37	0.13
Dy	0.72	1.12	1.27	1.60	0.41	2.02	0.69
Ho	0.12	0.21	0.20	0.29	0.07	0.34	0.14
Er	0.30	0.45	0.49	0.72	0.22	0.89	0.34
Tm	0.04	0.06	0.05	0.09	0.03	0.11	0.04
Yb	0.20	0.26	0.34	0.48	0.17	0.57	0.23
Lu	0.03	0.04	0.05	0.07	0.02	0.09	0.04
ΣREE	20.04	17.43	38.79	26.40	10.11	29.94	12.12
ΣCe	17.34	13.67	34.28	21.02	8.61	23.22	9.85
ΣY	2.70	3.76	4.51	5.38	1.50	6.72	2.27
ΣCe/ΣY	6.42	3.64	7.60	3.91	5.74	3.46	4.34
ⒺEu	1.81	1.97	2.10	2.27	2.37	3.08	2.71
ⒺCe	0.89	0.87	0.91	0.94	0.99	0.99	0.99
(La/Lu) _N	14.57	6.49	17.81	5.19	10.33	3.81	4.85
(La/Yb) _N	14.22	6.50	17.05	4.93	7.91	3.91	5.49

注: zk3801-b14—韵律层理闪锌矿矿石; zk3801-b13—闪锌矿方铅矿矿石; zk3004-b8—千糜状闪锌矿矿石; zk2601-b3—方铅矿闪锌矿矿石; zk3005-b3—闪锌矿黄铁矿矿石; zk3402-b2—闪锌矿方铅矿黄铁矿矿石; zk3002-b4—闪锌矿磁黄铁矿矿石

状白云石大理岩显示出 Eu、Ce 亏损(ⒺEu 为 0.52, ⒺCe 为 0.86)外,其他样品均表现出强烈的 Eu 正异常(ⒺEu 为 1.50~8.31),明显的 Ce 亏损(ⒺCe 为 0.92~0.97),尤其是微弱或不多期次滑石千糜岩(zk3001-b21)表现更加明显。

不同类型矿石样品中 ΣREE 为 (10.11~38.79)×10⁻⁶,平均为 22.11×10⁻⁶,介于变质碎屑岩和白云石大理岩类之间; ΣCe/ΣY 为 3.46~7.60,平均为 5.04; (La/Yb)_N 为 3.91~17.05,平均为 8.57,轻稀土相对富集。这些样品的显著特征是具有显著的 Eu 正异常(ⒺEu 为 1.81~3.08),微弱或不明显的 Ce 异常(ⒺCe 为 0.87~0.99),且稀土元素配分模式一致。

3 讨论与结论

(1)矿床中不同部位、不同类型岩石中稀土元素分布不均一。斜长花岗岩 ΣREE 相对较高,具有轻稀土富集的右倾稀土配分模式;赋矿围岩由变质

碎屑岩→直接围岩白云石大理岩类,离矿体的距离越近,ΣREE 越低;而矿石中 ΣREE 平均值介于两者之间,略高于白云石大理岩;变质碎屑岩中 ΣREE 随着岩石中硅化作用的增强,稀土元素总量降低。

(2)矿石中稀土元素的组成和配分模式与活化的白云石大理岩一致,均表现为右倾轻稀土略富集型, Eu 为显著的正异常, Ce 为弱的负异常。说明成矿物质的来源与活化的白云石大理岩可能具有密切关系,也许是继承了白云石大理岩的稀土元素特征。而变质碎屑岩和花岗岩的稀土元素分布与白云石大理岩类和矿石不同,表现为高的 ΣREE 值,配分模型表现右倾轻稀土富集“V”型折线。Eu 为中等的负异常, Ce 为弱的负异常,这似乎表明与成矿关系不大。

(3) Eu 作为 REE 系列中比较特殊的一个元素,其地球化学行为受到多重因素的影响,如体系的温度、压力、氧逸度、交代作用等,因此 ⒺEu 值在

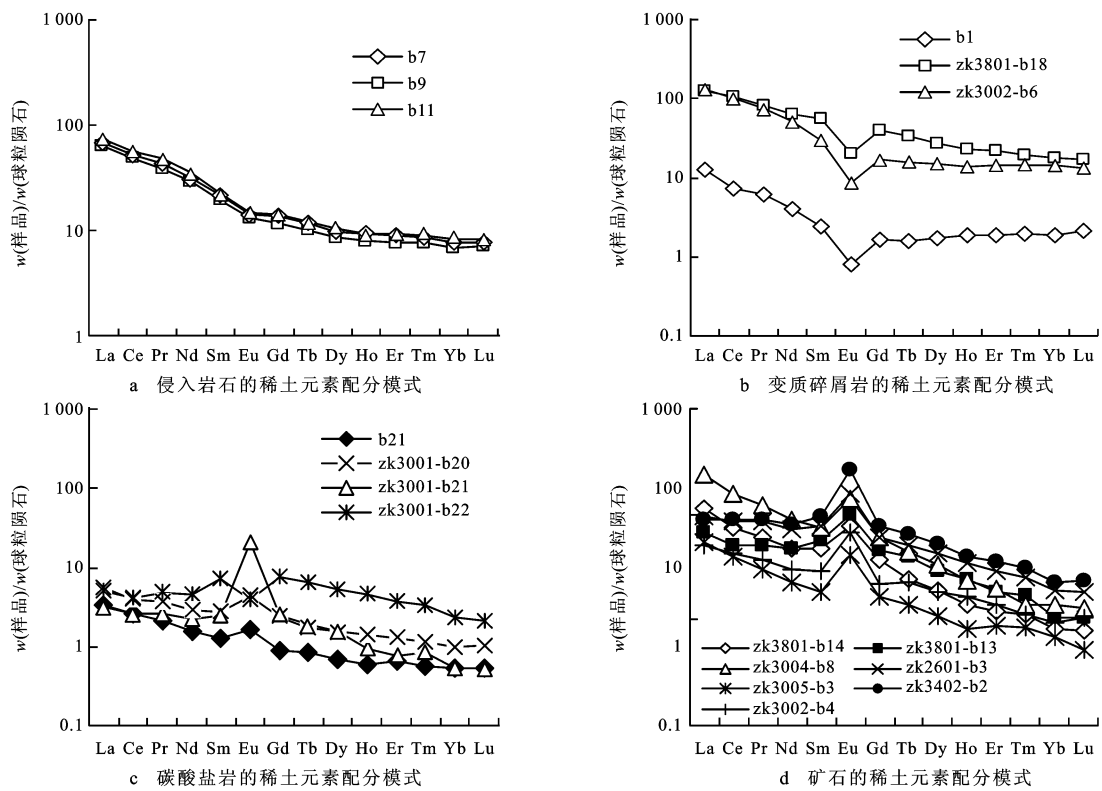


图 2 彩霞山矿区岩石和矿石的稀土元素配分模式

Fig. 2 Chondrite-normalized REE Distribution Patterns of Rocks and Ores in Caixiashan Pb-Zn Deposit, Xinjiang

判断岩石的 REE 地球化学行为方面具有一定的指示意义。图 3 中反映出斜长花岗岩和变质碎屑岩的 δEu 值趋于一致, 变化范围窄; 而白云石大理岩中 δEu 值变化范围较大, 且随着 $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$ 值的增大而增高的趋势; 矿石的 δEu 值在总体上呈现出随着 $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$ 值的增大而降低的趋势。即岩石和矿石的轻重稀土元素分异愈好, Eu 的富集愈强; 而矿石具有变化范围较宽的 $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$ 值, δEu 值处于白云石大理岩类的变化范围内。从这一特征也能反映出成矿与活化白云石大理岩之间的密切联系。

(4) 热液系统的流体在循环过程中不断发生水岩作用, 使岩石的组成发生改变, 同时也会使流体的温度、pH 值、Eh 值不断发生变化, 并不断的从岩石中获得稀土元素。由于岩石的蚀变, 矿物原有的结构、构造不断发生改变并形成新的矿物, 也会导致原有矿物中的稀土元素重新进行分配。所以, 在矿床的不同类型蚀变岩石中稀土元素含量分布是不均匀的。通常, 轻稀土元素富集, 高的 Eu 正异常是高温流体的一个重要特征。多期活化的白云石大理岩, 尤其是千糜状白云石大理岩, 其稀土元素

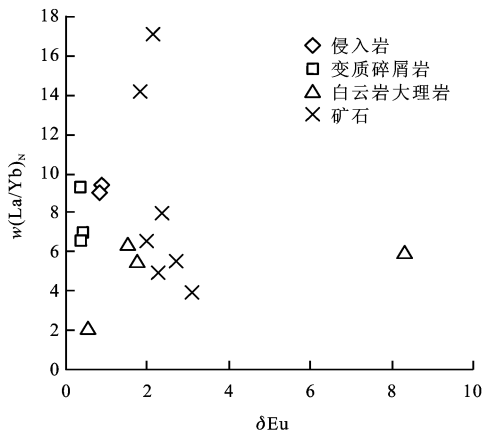


图 3 彩霞山铅锌矿区各类岩石和矿石 $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}-\delta\text{Eu}$ 变异图

Fig. 3 $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}-\delta\text{Eu}$ Variation Diagram of Different Rocks and Ores for Caixiashan Pb-Zn Deposit

配分模式与矿石中是一致的, 都具有轻稀土富集的、显著的 Eu 正异常的稀土配分特征。而 Eu 异常的变化与环境的氧化-还原变化有关; 高的正 Eu 异常一般出现在高温流体中。结合 2007 年笔者对矿床中石英、方解石的流体包裹体的氢氧同位素初步研究, 认为矿床中成矿流体来源于岩浆水和建造水的混合。笔者对铅同位素研究结果也显示, 矿石

矿物和岩石中的铅为地幔与上地壳的混合的铅。这些初步研究结果与岩石、矿石中稀土元素变化一致, 可以为研究矿床形成与岩浆活动的关系提供一个证据。

参考文献:

[1] Rollison H R. 岩石地球化学[M]. 杨学明, 杨晓勇, 陈双喜, 译. 合肥: 中国科技大学出版社, 2000.

[2] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1997.

[3] 赵振华. 铈(Eu)地球化学特征的控制因素[J]. 南京大学学报: 地球科学, 1993, 5(3): 271-280.

[4] 丁振举, 刘丛强, 姚书振, 等. 海底热液系统高温流体的稀土元素组成及其控制因素[J]. 地球科学进展, 2000, 15(3): 307-312.

[5] 高晓理, 彭明兴, 胡长安, 等. 新疆彩霞山铅锌矿床流体包裹体研究[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(2): 25-29.

[6] 梁 婷, 彭明兴, 王 磊, 等. 中天山彩霞山一带麻粒岩的发现和热力学研究[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2006, 33(2): 141-148.

[7] 高景刚, 彭明兴, 梁 婷, 等. 新疆彩霞山铅锌矿床地质及同位素地球化学特征[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(2): 137-140.

[8] 高景刚, 梁 婷, 彭明兴, 等. 新疆彩霞山铅锌矿床硫、碳、氢、氧同位素地球化学[J]. 地质与勘探, 2007, 43(5): 57-60.

[9] 彭明兴, 桑少杰, 朱 才, 等. 新疆彩霞山铅锌矿床成因分析及与 MVT 型矿床成因对比[J]. 新疆地质, 2007, 25(4): 373-378.

[10] 梁 婷, 王 磊, 彭明兴, 等. 新疆彩霞山铅锌矿床的铅同位素地球化学研究[J]. 西安科技大学学报, 2005, 25(3): 337-340.

[11] 彭明兴, 李玉林, 王 强, 等. 新疆维吾尔自治区鄯善县彩霞山铅锌矿床 II 3 号富矿体详查报告[R]. 新疆昌吉: 新疆地矿局第一地质大队, 2005.

[12] 梁 婷, 王登红, 胡长安, 等. 新疆彩霞山铅锌矿微量和稀土元素地球化学特征初步研究[J]. 地质与勘探, 2008, 44(5): 1-9.

[13] 张良臣, 刘德权, 王有标, 等. 中国新疆优势金属矿产成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2006.

(上接第 141 页)

文中植物化石由长安大学地球科学与资源学院罗桂昌教授鉴定, 动物化石由长安大学地球科学与资源学院汪明洲教授、许安东副教授鉴定, 牙形刺主要由中科院南京地质古生物研究所王成源先生鉴定, 部分由李勇教授、郭俊峰鉴定, 参与野外工作的还有王瑶培、杨福亮、张建伟、王涛等, 在此一并致谢。

参考文献:

[1] 张维吉, 孟宪恂, 胡建民, 等. 祁连—北秦岭造山带接合部位构造特征与造山过程[M]. 西安: 西北大学出版社, 1994.

[2] 冯益民, 曹宣铎, 张二朋, 等. 西秦岭造山带构造山过程及动力学: 1 : 1 000 000 西秦岭造山带及其邻区大地构造图说明书[M]. 西安: 西安地图出版社, 2002.

[3] 苏春乾, 崔建军, 赵 欣, 等. 西秦岭大草滩组的再厘定及地质属性讨论[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(3): 1-9.

[4] 裴先治, 孟 勇, 丁仁平, 等. 祁连—秦岭造山带交接部位 25 亿年碎屑锆石的发现及其地质意义[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(2): 111-117.

[5] 苏春乾, 刘继发, 王瑶培. 西秦岭文县地区关家沟组海底扇沉积体系[J]. 长安大学学报: 地球科学版, 2003, 25(4): 21-26.

[6] 裴先治, 郭俊峰, 李 勇, 等. 西秦岭武山杨河—礼县固城地区石炭纪地层的发现及其意义[J]. 地质通报, 2003, 22(7): 494-499.

[7] 郭俊峰, 李 勇, 裴先治, 等. 西秦岭礼县鲁班石一带石炭纪牙形刺新资料[J]. 地质通报, 2003, 22(7): 500-505.

[8] 郭俊峰, 李 勇, 裴先治, 等. 西秦岭杨河—固城一带原“泥盆系”中发现早石炭世化石[J]. 地质论评, 2003, 49(6): 567-571.

[9] 陕西省区域地质调查队. 1 : 200 000 天水幅区域地质调查报告[R]. 咸阳: 陕西省地质矿产局区域地质调查队, 1968.

[10] 甘肃省区域地质调查队. 1 : 200 000 天水幅区域地质调查报告[R]. 兰州: 甘肃省地质矿产局区域地质调查队, 1989.

[11] 曹宣铎, 胡云绪, 赵江天, 等. 秦岭石炭纪裂陷盆地的沉积—构造演化[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994.

[12] 《甘肃地层表》编写组. 西北地区区域地层表: 甘肃省分册[M]. 北京: 地质出版社, 1980.

[13] 甘肃省地质矿产局. 甘肃省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.

[14] 曾学鲁, 侏伟元, 何心一, 等. 西秦岭石炭纪、二叠纪生物地层及沉积环境[M]. 北京: 地质出版社, 1996.

[15] 甘肃省地质矿产局. 甘肃省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.

[16] 全国地层委员会. 中国地层指南及中国地层指南说明书[M]. 修订版. 北京: 地质出版社, 2001.

[17] 叶连俊, 关士聪. 甘肃中南部地质志[J]. 地质专报: 甲种本, 1944.

[18] 黄振辉. 秦岭西段古生代地层[C]. //全国地层会议学术报告编写组. 全国地层会议学术报告汇编. 北京: 科学出版社, 1962: 189-203.

[19] 秦 峰, 甘一研. 西秦岭古生代地层[J]. 地质学报, 1976, 50(1): 74-97.

[20] 甘肃省地质矿产局区域地质调查队. 甘肃的石炭系[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1987.