

大厂锡-多金属矿床热液喷气沉积成因的证据——容矿岩石的微量元素及稀土元素地球化学

韩 发

R.W.哈钦森

(中国地质科学院矿床地质研究所)

(美国科罗拉多矿业学院)

内容提要: 对大厂锡矿床容矿岩石稀土元素地球化学研究表明, 本矿区主要容矿岩石——硅质岩、富长石岩及电气石岩稀土元素总量低、具弱的Ce亏损、明显的Eu负异常。这些特点与某些有代表性矿床中的热液喷气沉积岩——条带状燧石岩及电气石岩十分相似, 证明了它们属于喷气沉积成因。相反, 与主要容矿岩石互成条带的部分绢云母岩、含绢云母的长石岩等则稀土总量高, 轻重稀土分馏明显, 与北美页岩相似, 具有陆源沉积或混合成因的特征。运用聚类分析的方法, 这些岩石的微量元素地球化学分类与上述结果完全一致, 为其成因进一步提供了佐证。

主题词: 大厂锡矿 容矿岩石 地球化学

我们曾经从大厂锡-多金属矿床含矿建造及容矿岩石的岩石学、岩石化学等方面研究了本矿床容矿岩石的成因^[1]。为了进一步探讨这个问题, 本文将辅以有关稀土元素及微量元素地球化学方面的资料。为此, 我们对大厂锡-多金属矿床1个条带状的黄铁矿矿石及与之互层的纹层状电气石岩、2个纹层状的锡石-钾长石岩、3个纹层状的富钾长石岩、2个条带状矿石中的硅

表 1 大厂锡-多金属矿床和某些块状硫化物矿床容矿岩石及有关矿石的稀土元素含量(ppm)

Table 1. Rare earth element analyses of host rocks and associated ores from the Dachang tin-polymetallic ore field and some massive sulfide deposits (in ppm)

Sample No.	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	La/Yb	δEu
DC27-1	2.4	5.7	0.8	3.7	0.8	0.56	0.8	<0.1	0.8	<0.05	0.3	<0.1	0.3	<0.05	4.0	16.26	8.00	2.14
DC27-2	4.6	10.4	1.8	7.2	1.8	0.39	1.7	0.2	1.4	0.16	0.8	0.1	0.5	<0.05	9.0	31.07	9.20	0.68
T2-2	25.6	44.0	6.0	22.5	5.0	0.82	4.3	0.6	3.5	0.51	1.7	0.2	1.3	0.12	15.0	116.15	19.69	0.54
T18	21.6	39.2	4.4	17.2	3.8	0.60	3.2	0.4	3.2	0.54	1.6	0.2	1.1	0.07	16.0	97.11	19.64	0.52
DT25-1	0.9	2.3	0.3	1.5	0.4	<0.05	0.3	<0.1	0.2	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.05	3.0	6.08	—	—
DT25-2	25.1	46.8	5.8	20.0	4.0	<0.05	2.3	0.3	1.5	0.21	0.6	0.1	0.7	0.08	8.0	107.51	35.86	—
DT24-51	1.1	3.3	0.5	3.4	1.1	<0.05	0.5	<0.1	0.5	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.05	3.0	10.58	—	—
DT24-52	24.6	47.5	5.9	21.9	4.0	0.21	2.7	0.4	1.9	0.23	0.8	0.2	0.9	<0.05	8.0	111.26	27.33	0.19
T22-2	66.1	115.0	14.6	57.8	11.5	2.57	9.4	1.5	8.9	1.59	4.5	0.6	3.3	0.42	49.0	297.78	20.03	0.74
C20-2	65.2	109.0	13.7	53.7	10.5	2.21	9.4	1.4	8.5	1.49	4.1	0.6	3.1	0.46	48.0	283.36	21.03	0.68
C15-2	1.1	4.1	0.9	5.3	1.2	<0.05	0.9	0.1	0.9	0.08	0.5	<0.1	0.7	0.06	7.0	15.89	1.57	—
T11	1.8	3.4	0.4	2.3	0.5	<0.05	0.3	<0.1	0.4	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.05	3.0	9.28	—	—
4155ND-1	11.2	23.1	2.8	11.3	2.3	0.44	1.8	0.2	1.8	0.32	1.1	0.2	1.1	0.19	11.0	57.85	10.18	0.65
19577a	5.6	13.7	1.7	7.8	1.8	0.43	1.3	0.2	1.4	0.15	0.6	0.1	0.6	<0.05	6.0	35.40	9.33	0.83

表 2 大厂锡-多金属矿床和某些块状硫化物矿床容矿岩石及有关矿石的稀土元素含量(wt.%)

Table 2. Trace element composition of host rocks and associated ores from the Dachang tin-polymetallic ore field and some massive sulfide deposits (wt.%)

Sample No.	TiO ₂	Zr	Nb	Y	Sc	Ga	Ce	P ₂ O ₅	Zr/TiO ₂	Nb/Y	Ga/Sc
T2-2	0.37	0.0105	<0.0005	0.0034	0.00042	0.0015	0.0039	0.03	0.0284	0.0735	3.5800
T18	0.51	0.0405	0.0015	0.0031	0.00071	0.0020	0.0030	<0.03	0.0794	0.4839	2.8050
DT25-1	0.06	0.0049	0.0007	<0.0005	0.00068	0.0009	0.0009	<0.03	0.0817	2.8000	1.3255
DT25-2	0.73	0.0065	0.0008	0.0007	0.00097	0.0027	0.0037	0.04	0.0089	1.1429	2.7864
DT24-51	0.19	0.0052	0.0008	<0.0005	0.00045	0.0017	0.0008	<0.03	0.0274	3.2000	3.7528
DT24-52	0.78	0.0100	0.0013	0.0037	0.00081	0.0023	0.0041	0.11	0.0128	0.3514	2.8501
C15-2	0.29	0.0080	0.0010	<0.0005	0.00049	0.0016	0.0007	<0.03	0.0276	4.0000	3.2787
T22-1	0.26	0.0056	<0.0005	0.0043	0.00028	<0.0005	<0.0005	<0.03	0.0215	0.0581	0.8929
T22-2	0.49	0.0135	0.0007	0.0061	0.00112	0.0019	<0.0005	0.09	0.0276	0.1148	1.6964
C20-1	0.08	0.0070	<0.0005	0.0041	0.00041	0.0059	<0.0005	0.01	0.0875	0.0610	14.3902
C20-2	0.44	0.0115	<0.0005	0.0125	0.00134	0.0018	0.0017	4.55	0.0261	0.0200	1.3433
T11	0.04	0.0056	0.0008	<0.0005	0.00009	<0.0005	<0.0005	0.23	0.1400	3.2000	2.7778
C5	0.03	0.0046	0.0008	<0.0005	0.00014	<0.0005	<0.0005	0.35	0.1533	3.2000	1.7857
4155ND-1	0.44	0.0145	0.0013	<0.0005	0.00074	0.0013	0.0022	<0.03	0.0330	5.2000	1.7615
4155ND-2	0.46	0.0195	0.0008	0.0009	0.00073	0.0014	0.0074	0.04	0.0424	0.8889	1.9337
19577a	0.50	0.0142	0.0011	<0.0005	0.00106	0.0017	0.0022	0.08	0.0284	4.4000	1.6038
15	0.45	0.0270	0.0014	0.0027	0.0013	0.0009	0.0029	0.07	0.0600	0.5185	0.6923
21236	1.15	0.0190	0.0011	0.0028	0.00211	0.0018	0.0024	0.31	0.0165	0.3929	0.8531
1800-1	0.52	0.0097	0.0017	0.0345	0.00074	0.0064	0.021	<0.03	0.0663	0.6598	2.2973
Sandstone	0.25	0.022	0.0000	0.0040	0.0001	0.0012	0.0092	0.04	0.0880	0.0100	12.0000
limestone	0.07	0.019	0.00003	0.0030	0.0001	0.0004	0.0012	0.09	0.2714	0.0100	4.0000
Shale	0.77	0.016	0.0011	0.0026	0.0013	0.0019	0.0059	0.16	0.0208	0.4200	1.4600

注：表1、2中样品描述及采样位置：DC27-1、含电气石的条带状黄铁矿矿石，产于条带状碳酸盐岩-硅质岩层位(D₃^{2b})，取自长坡矿床75号矿体；DC27-2、与条带状黄铁矿矿石互层的纹层状电气石岩；T2-2、条带状磁黄铁矿-闪锌矿矿石中的富含磁黄铁矿、闪锌矿的硅质条带，产于小扁豆灰岩层位(D₃^{2a})，取自铜坑矿床；T18、纹层状富碳的富钾长石岩，产于条带状碳酸盐岩-硅质岩层位(D₃^{2b})，取自铜坑矿床；DT25-1、条带状锡石-钾长石岩，产于条带状碳酸盐岩-硅质岩层位(D₃^{2b})，取自铜坑矿床91号矿体；DT25-2、与前者互成条带的含绢云母的钾长石岩；DT24-51、条带状锡石-钾长石岩，产于泥灰岩层位(D₃^{2a})的锡石钾长石硫化物薄层中；DT24-52、与前者互成条带的含绢云母的钾长石岩；T22-1、条带状矿石中含黄铁矿的硅质岩，产于条带状硅质岩层位(D₃¹)，取自铜坑矿床92号矿体；T22-2、与前者互成条带的绢云母岩；C20-1、条带状矿石中的硫化物矿石，产于条带状硅质岩层位(D₃¹)，取自长坡矿床92号矿体；C20-2、与前者互成条带的绢云母岩；C15-2、含碳质条带的条带状硅质岩，产于条带状硅质岩层位(D₃¹)，取自长坡矿床92号矿体；T11、块状硅质岩，产于硅质岩层位(D₃¹)，取自铜坑矿床；C5、富碳的块状硅质岩，产于硅质岩层位(D₃¹)，取自长坡矿床；4155ND-1、条带状富电气石的热液沉积岩，取自加拿大沙利文矿山；4155ND-2、条带状含磁黄铁矿富电气石的热液沉积岩，采样地点同上；19577a、条带状燧石岩，取自加拿大Agnico-Eagle矿山；15、条带状燧石岩，取自加拿大Corbett矿山；21236、条带状燧石岩，取自加拿大Millebach矿山；1800-1、条带状燧石岩，取自澳大利亚Renison Bell矿山

质岩纹层、2个条带状矿石中的绢云母岩纹层及一个块状硅质岩做了稀土元素分析。为了进行对比，对采自加拿大沙利文矿山的纹层状富电气石热液沉积岩、采自Agnico-Eagle块状硫化物矿山的燧石岩也同时进行了稀土元素测定。测试工作是在加拿大多伦多XRAL有限公司实验室用等离子质谱进行的，有关元素的检测限如下(ppm)：Y 1.000；La 0.1000；Ce 0.1000；Pr 0.1000；Nd 0.1000；Sm 0.1000；Eu 0.0500；Gd 0.1000；Tb 0.1000；Dy 0.1000；Ho

0.0500; Er 0.1000; Tm 0.1000; Yb 0.1000; Lu 0.0500, 全部测试结果见表1。对上述样品中的绝大多数样品及少量其它样品, 我们同时进行了8个“不活动组分”的测定, 其中 TiO_2 、 P_2O_5 用等离子光谱测定, Zr、Nb、Ce、Y用X射线荧光光谱测定, Ga用直流微波等离子光谱测定, Sc用中子活化法测定。各元素的检测限如下: TiO_2 0.01%; P_2O_5 0.01%; Sc 0.1 ppm; Ga、Zr、Nb、Ce、Y均为5ppm, 全部分析结果见表2。现分述如下。

一、容矿岩石稀土元素组成特征^①

为了醒目起见, 我们把12个分析结果分成三组分别绘于图1、2、3。第一组(图1)

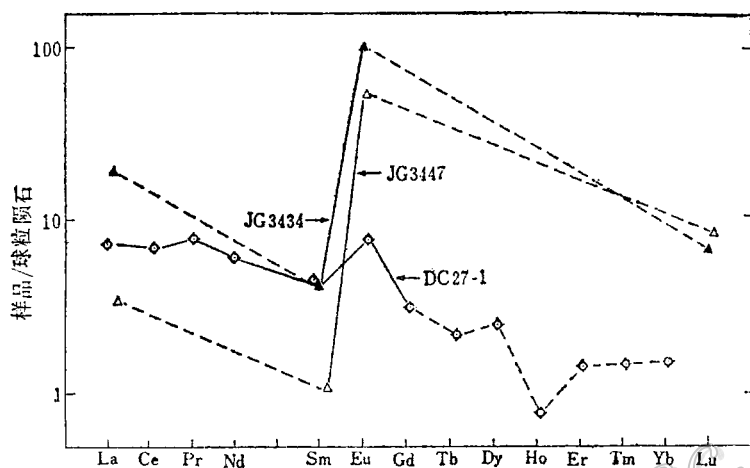


图1 大厂锡-多金属矿床91号矿体中条带状黄铁矿石(LC27-1)和加拿大布伦瑞克块状硫化物矿床中的Pb-Zn矿石(JG3434, JG3447)的稀土元素图型(据Graf, Jr., 1977)

Fig. 1. REE patterns of bedded pyritic ore(LC27-1) from the No. 91 orebody of the Dachang tin-polymetallic ore field and of two massive sulfide samples(JG3434, JG3447) from the Pb-Zn zone of the Brunswick Number Six deposit (after Graf, Jr., 1977).

是唯一的一个条带状黄铁矿石样品, 第二组(图2)是纹层状锡石-钾长石岩及硅质岩样品, 第三组(图3)是富钾长石岩及绢云母岩样品。第一组虽然只有一个样品, 但就稀土总量及轻重稀土分馏程度来看, 它都可以作为第二组样品的代表, 所以我们又绘制了图4, 把它与北美页岩加以对比。从表1、图1、4可以看出, 该样品稀土总量低(16.26ppm), 具有弱的正铈异常和Ce的亏损, 与同时代的北美页岩相比, 它相对富集重稀土, La/Yb比值为8.0。就总的图型特点来看, 该样品与加拿大布伦瑞克矿床Pb-Zn矿石样品相似, 但其Eu异常及重稀土含量都比后者低。格拉夫⁽²⁾(Graf, Jr., 1977)在研究与火山岩有关的块状硫化物矿床的稀土元素地球化学时曾指出, 富含Pb-Zn的硫化物样品中强的正铈异常及重稀土的富集是

① 关于大厂锡-多金属矿床地质地球化学特征, 我们将另有专文发表, 但考虑到和热液沉积岩一样, 矿石也是从海底热卤水中形成的一种化学沉积物, 故有关矿石的稀土及微量元素资料在此一并讨论

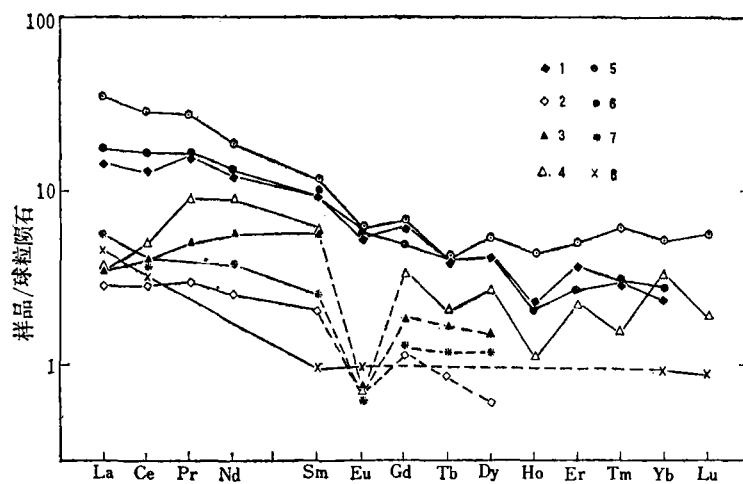


图 2 大厂锡-多金属矿床及沙利文和Agnico-Eagle矿床容矿岩石的稀土元素图型
1—DC27-2; 2—DT25-1; 3—DT24-1; 4—C15-2; 5—4155ND-1; 6—19577a; 7—T11; 8—澳大利亚哈默斯利铁矿的燧石岩 (Graf, Jr., 1978⁽³⁾)

Fig. 2. REE patterns of host rocks from the Dachang tin-polymetallic ore field, Sullivan Mine and Agnico-Eagle deposit.

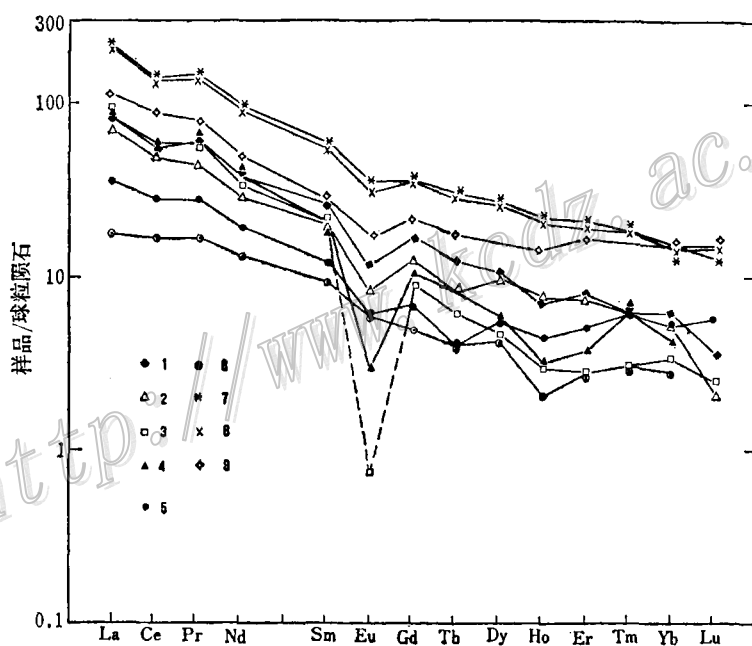


图 3 大厂锡-多金属矿床及沙利文和Agnico-Eagle矿床容矿岩石稀土元素图型
1—T2-2; 2—T18; 3—DT25-2; 4—DT24-2; 5—4155ND-1; 6—19577a; 7—T22-2; 8—C20-2; 9—40个北美页岩平均值

Fig. 3. REE patterns of host rocks from the Dachang tin-polymetallic ore field, Sullivan Mine and Agnico-Eagle deposit.

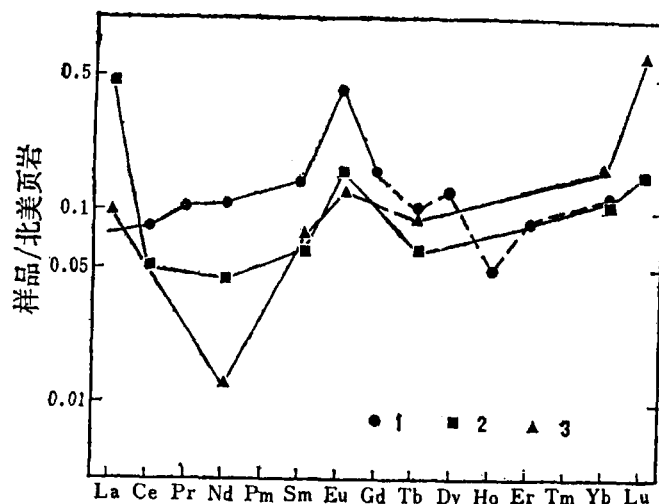


图4 与北美页岩混合物相对比的大厂锡矿床中的条带状黄铁矿石(1)、阿特兰蒂斯海渊(2)和加拉帕戈斯山(3)的金属沉积物稀土元素的丰度
(据Fleet, 1984)^[4]

Fig. 4. REE abundances of bedded pyritic ore from the No. 91 orebody in the Dachang tin-polymetallic ore field and of metalliferous sediments from the Atlantis II Deep and the Galapagos mounds compared to a composite of North American shales
(after Fleet, 1984)^[4].

和长石受浓集卤水的蚀变有关, 蚀变溶液的稀土元素图型的模拟计算表明, 长石的优先蚀变能够使得溶液富含铈。福尔等^[5] (1979) 的研究表明, 在海底热液对流系统中, 当氧分压相当于石英-磁铁矿-铁橄榄石缓冲曲线水平时, 则相当大一部分Eu将以 Eu^{2+} 状态存在, 并在水热流体中优先被搬运。实验研究 (Callers等, 1973, Elynn and Burnham, 1978) 证实了上述的看法。在大厂矿区并没有迹象表明成矿作用是与海底火山活动有关, 因此, 没有出现强正铈异常及重稀土特别富集的样品。这个弱铈异常样品的出现可能是循环卤水系统局部还原条件下的产物。另外, 从图4也可看出, 这个黄铁矿样品与红海阿特兰蒂斯II海渊和加拉帕戈斯山的现代金属沉淀物的图型很相似, 说明了它们的形成过程和条件具有相似性。

第二组样品以稀土元素总量低 (6.08—31.07ppm), 大部分具有Ce的亏损, 显著的铈负异常及比北美页岩富集重稀土为特征。把这组样品的稀土元素图形同太古代与火山作用有关的块状硫化物矿床中的燧石岩, 元古代含铁建造中的燧石岩及富含电气石的热液沉积岩加以对比是很有意义的。从图2可见, 2个硅质岩样品 (块状硅质岩T11及条带状硫化物矿石中的硅质纹层C15-2) 除了La的含量有差别而外, 其稀土元素的图型是十分相似的, 并且与已知的燧石岩及富含电气石喷气岩的图型亦十分相似。特别是本矿区的块状硅质岩更相似于哈默斯利含铁建造中的燧石岩, 而条带状硫化物矿石中的硅质纹层更相似块状硫化物矿床中的燧石岩、或富含电气石喷气岩。同样, 本矿区富碳质的电气石岩样品稀土元素图型与沙利文矿山的富电气石喷气岩基本一致。对于2个纹层状的锡石-钾长石岩, 由于其稀土含量非常低, 以至于重族稀土元素含量低于检测限, 但其轻族稀土与中族稀土的图型与上述有关样品相似, 尤其更接近本矿区的块状硅质岩及哈默斯利含铁建造的燧石岩。

第三组样品的稀土元素总量都偏高,并可进一步分成2个亚组,Ⅲ-A组(样品T22-2, C20-2)及Ⅲ-B组(样品T2-2, T18, DT25-2, DT24-2)。Ⅲ-A组是2个产于硅质岩层位中的与条带状硫化物矿石互层的绢云母岩纹层,其稀土元素总量分别为297.78ppm及283.36ppm,轻重稀土分馏明显,La/Yb分别为20、21,更具有古生代海相沉积物轻重稀土强烈分馏的特征。如图3所示,该组样品稀土元素的图型与北美页岩十分相似,唯一的不同是其稀土元素总量高于北美页岩的平均值。Ⅲ-B组样品稀土元素总量介于北美页岩及典型的燧石岩和富电气石的喷气岩之间,从其图型所处的位置及其形态特征来看,这组样品显示了属于热液沉积岩与海相正常沉积岩混合的产物,但是所有4个样品都以具有弱的Ce亏损为特征而区别于北美页岩。

现代海水沉淀下来的化学沉积物,如洋中脊附近的Fe-Mn沉淀物,准确地反映了海水相对亏损Eu和Ce的特点。所以福尔^[6](1977)认为,化学沉积物特别是条带状含铁建造是追踪随着时间的推移沉积环境中稀土元素演化的最好物质。反过来,把含铁建造作为典型的热液沉积岩,把我们研究样品稀土元素组成特点与其加以比较,无疑是解决某些岩石、矿石成因的有效方法。为了这个目的,我们先看一下随着地质历史的演化,含铁建造稀土元素组成特点:第一,从太古代至今,各类含铁建造的REE总量都是低的(Fryer^[7] 1983; Graf, Jr^[3], 1978; Fleet^[4], 1984),当然那些富含磷灰石、独居石或磷钇矿的样品除外,因为这些矿物特别富集REE;第二,在太古代含铁建造中未发现Ce有明显的异常,而自中、晚元古代开始则观察到了富集和亏损两种异常的例子,在现代洋脊金属沉积物中具有显著的Ce亏损;第三, Eu异常对不同类型的化学沉淀物不一样,总的来讲,对于阿尔戈马型铁建造,无论它们产在太古代还是古生代,都普遍具有Eu正异常,并且其REE图型十分相似。而苏必利尔型铁建造一般不具Eu正异常,但几乎在每一个地区的测试样品中,总有个别样品显示弱的Eu异常。现代洋脊金属沉淀物中普遍具有负Eu异常;第四,太古代含铁建造轻重稀土分馏不明显,La/Yb比值可低至3.5,而自元古代起,则其轻重稀土分馏趋于增强,东太平洋隆峰顶沉积物的La/Yb比值为6.1—6.3(Fleet^[4], 1984)。但总的看来,这个比值仍然低于同时代的陆源沉积物,如现代深海软泥La/Yb比值为11(McLennan and Taylor, 1980)^[8]。特别要指出的是,在地质历史的演化中,含铁建造中的Ce及Eu异常明显的规律性与地壳及海水本身的演化有关。在太古代及早元古代,由于强烈的火山活动,大量的强还原热流体被排泄到海洋,因此,当时的海水富含Eu²⁺,各类的化学沉积物都具有显著的Eu正异常。自中元古代以后,由于海水变成氧化型的, Eu²⁺、Ce³⁺分别被氧化成Eu³⁺、Ce⁴⁺而与其他稀土元素分离,因此自中元古代起,局部地区自早元古代起,各类化学沉积物明显亏损Eu、Ce,尤以现代洋中脊的金属沉积物为特征(Fryer^[5], 1979)。当然,在特殊条件下,由于局部环境具强还原热流体的存在,有些化学沉积物具有Eu正异常,如古生代阿尔戈马型铁建造及其某些块状硫化物矿石。如前所述,本矿区前两组样品稀土元素总量都很低,变化于6.08—31.07ppm之间,与各类含铁建造或热液沉积岩的稀土元素总量基本一致。另外,其中5个样品都具有弱的Ce亏损,明显的负Eu异常,与元古代以来各类化学沉积物相似,表明了它们在它们的形成中海水起了一定作用。同样,与各类含铁建造相似,这两组样品均具有重稀土比同时代碎屑沉积岩相对富集的特征。这是因为重稀土络合物具有较大的稳定性,故它们在水中停留的时间比轻稀土要长,结果海水比同时期的海洋碎屑沉积物相对富含

重稀土,如太平洋海水,现代海泥及北美页岩的La/Yb比值分别为5.4、11和10.6,明显不同。显而易见,本矿区前两组样品中的各类岩矿石是在海水参与下,以化学沉淀方式形成的热液沉积岩。它们的REE组成特点与元古代苏必利尔型铁建造更相似,这说明它们的形成并不直接与火山活动相伴随。第三组样品有些复杂,Ⅲ-A组的稀土元素组成特征与含铁建造截然不同,而与北美页岩十分相似,显然是正常海相陆源泥质沉积物经轻微变质形成的绢云母岩。Ⅲ-B组中的DT25-2, DT24-52 两个样品除富含钾长石外,还富含绢云母,该两个样品同和它们互成条带的富含锡石-钾长石的纹层相比(第二组中样品DT25-1, DT25-51),其REE总量高出十几倍,很明显绢云母对此起了决定性的作用。绢云母是易于富集REE的矿物,与Ⅲ-A组绢云母岩相比,可以认为这两个样品中的绢云母也是正常陆源泥质沉积物变质而成。在微量元素地球化学分类中,这两个样品被划分为页岩组中(见后述)也进一步证明了这点。正如福尔(Fryer^[7], 1983)指出的,热液沉积物的稀土元素含量一般是非常低的,因此,任何有意义的陆源物质或火山碎屑的加入都会严重影响REE的丰度,也影响其数据的解释。这两个样品REE图型介于页岩与热液沉积岩之间,轻重稀土分馏更明显,是陆源物质混入的结果,但是弱的Ce亏损又从另一个方面反映了它们具有热液沉积岩的特征。Ⅲ-B组中的T2-2、T18两个样品共同特点是富含碳质,这是造成它们REE总量增高的主要原因。但是,在其它矿物组成方面,它们不同于页岩或绢云母岩,即没发现有意义的陆源物质混入(样品T18含大约被15%的方解石,目前尚不知其成因),因此,在微量元素地球化学分类中,这两个样品分别划为富含电气石的热液沉积岩组和含长石的燧石岩组(见后述)。

二、容矿岩石微量元素地球化学

把微量元素地球化学与稀土元素地球化学的研究结合起来,对于判别某些岩石、矿石的成因能给我们提供更有用的信息。首先,我们对22个样品8个组分的测定结果及其有关比值共11个变量,用欧氏距离函数的办法进行聚类分析。用作聚类分析的标准样品有:2个取自沙利文矿区的富含电气石的热液沉积岩(样品4155ND-1含大约2%的条带状磁黄铁矿、4155ND-2含大约10%的条带状磁黄铁矿);4个取自与火山岩有关的块状硫化物矿床中的燧石岩及以世界平均值为准的砂岩、灰岩和页岩的样品。最后结果以欧氏距离矩阵的方式表示于表3。从表3可以看出:稀土元素地球化学分类中的第二组样品全部被划为取自沙利文矿区的热液沉积岩类,而稀土元素地球化学分类第三组中的2个绢云母岩及2个富含绢云母的长石岩被划为页岩类,另外2个是不含陆源物质的岩石,因此分别被划为热液沉积岩类和燧石岩类。2个没有做稀土元素测定的样品(T22-1,含黄铁矿的条带状硅质岩;C20-1,条带状的黄铁矿矿石)分别被划为热液沉积岩类和砂岩类。黄铁矿矿石(样品C20-1)被划为砂岩类,显然是种差错,其原因可能是因为没有硫化物矿石样品所致。在此可以看出,本矿区热液沉积岩的稀土元素地球化学分类与微量元素地球化学分类有着惊人的一致性,这无疑提高了对其成因判别的可信度。进一步,在被划为热液沉积岩的8个样品中有7个划到沙利文矿区的热液沉积岩类,而与火山有关的燧石岩类无缘,这也说明本矿床的形成环境与沙利文矿床很相似,与火山作用无关。

总之,本矿区含矿建造内各类层状、层纹状岩石、矿石,即有以化学沉淀方式形成的较

表3 据微量元素组成对大厂锡-多金属矿床容矿岩石及有关矿石进行聚类分析的欧氏距离矩阵

Table 3. Abridged table of Euclidean distance matrix based on standard-deviation,
using trace element composition of host rocks and associated ores from the Dachang
tin-polymetallic deposit

Sample No.	T2-2	T18	DT25-1	DT25-2	DT24-51	DT24-52	C15-2	T22-1	T22-2	C20-1	C20-2	T11	C5
4155ND-1	3.564	4.239	2.500	3.138	2.071	3.551	1.381	3.891	3.727	6.350	7.089	3.236	3.384
4155ND-2	1.671	2.589	2.669	2.132	2.567	2.051	2.585	2.529	2.082	5.498	6.265	3.515	3.661
19577a	3.295	3.991	2.523	2.517	2.151	3.040	1.609	3.066	3.180	6.135	6.720	3.570	3.688
15	2.882	2.131	3.468	3.114	3.741	2.787	3.656	3.391	2.131	6.292	6.082	4.362	4.434
21236	4.581	4.443	5.503	3.236	5.403	3.119	5.220	5.210	3.320	7.367	6.312	6.586	6.635
1800-1	6.382	4.965	7.043	6.566	6.966	5.757	6.789	6.839	5.906	8.197	8.031	7.317	7.403
Sandstone	3.127	4.002	4.515	4.602	4.153	4.281	4.415	4.092	4.217	3.983	7.093	4.343	4.639
Limestone	4.560	4.816	4.354	5.927	5.139	5.714	5.341	4.726	5.200	6.063	7.721	3.512	3.468
Shale	2.552	3.228	3.765	1.614	3.579	1.323	3.514	3.340	1.676	5.934	5.841	4.839	4.930

注：在下面划横线的数字表明所研究样品与相应的已知标准样品属于同一类

纯的热液沉积岩,也有一定量的陆源物质加入形成的混合型沉积岩,还有以陆源物质为主的正常沉积的泥质岩。这三类岩石互层产出,但在主要含矿层内(D₁^a, D₂^b)则以热液沉积岩为主。

本文和已经发表于本刊的“大厂锡-多金属矿床含矿建造及热液沉积岩”以及将要发表的“矿床地质地球化学特征”等文,是在中国有色金属总公司大厂矿务局,中国地质科学院矿床地质研究所,美国丹佛地质调查所及科罗拉多矿业学院地质和工程地质系的大力支持下完成的。尤其在野外地质调查期间,我们得到了大厂矿务局赵汝松、何昆元、张平高级工程师,韦可利工程,广西壮族自治区拉么矿山杨礼才高级工程师多方面的关照。他们同我们共同进行地质观察,为我们采集研究样品,了解基础地质情况给予了大力的帮助,我们深表谢意。另外,我们感谢中国地质科学院矿床地质研究所丁梯平副研究员,李纯杰,周科子工程师为我们工作提供的帮助。在电子探针工作中,美国丹佛地质调查所Ralph Christen博士为我们提供了极大方便,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 韩发, R.W. 哈钦森 1989 大厂锡-多金属矿床热液喷气沉积成因证据——含矿建造及热液沉积岩 矿床地质 第8卷 第2期
- [2] Graf, J. L., Jr, 1977, Rare earth elements as hydrothermal tracers during the formation of massive sulfide deposits in volcanic rocks. Econ. Geol. 72, pp.527-548.
- [3] Graf, J. L., Jr, 1978, Rare earth elements, iron formation and sea water. Geochim. Cosmochim. Acta. Vol. 42. No. 12
- [4] Fleet, A. J., 1984, Aqueous and sedimentary geochemistry of the rare earth elements. in Rare Earth Element Geochemistry. pp. 343-369. Elsevier Science Publishers B. V.
- [5] Fryer, B. J., Fyfe, W. S. and Kerrich, R., 1979, Archean volcanogenic oceans. Chem. Geol. 24.
- [6] Fryer, B. J., 1977, Rare earth evidence in iron-formations for changing Precambrian oxidation states. Geochim. Cosmochim. Acta, 41, pp. 361-367.
- [7] Fryer, B. J., 1983, Rare earth elements in iron-formation. in iron formation: facts and problems. pp.

345-358. Elsevier Science Publishers B. V.

- [8] McLennan, S. M. and Taylor, S. R., 1980, Geochemical standards for sedimentary rocks: trace element data for U. S. G. S. standards SCo-1, MAG-1 and SGR-1. *Chem. Geol.*, 29: pp.333-343.

EVIDENCE FOR HYDROTHERMAL EXHALATIVE SEDIMENTARY ORIGIN OF THE DACHANG TIN-POLYMETALLIC DEPOSITS—GEOCHEMISTRY OF RARE EARTH ELEMENTS AND TRACE ELEMENTS OF THE HOST ROCKS

Han Fa

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)

R. W. Hutchinson

(Department of Geology, Colorado School of Mines, USA)

Abstract

Results of a REE study of the Devonian host rocks of the Dachang tin-polymetallic deposits indicate that the main host rocks including siliceous rocks, K-feldspar-rich rocks and tourmalinites are generally lower in total REE content, and show negative cerium anomalies and marked europium depletions. The ratios of LREE's vs. HREE's are lower than those of contemporaneous sediments derived from terrigenous material. All of these characteristics are similar to those of bedded iron-bearing formations of middle-upper Proterozoic and younger age, and also to exhalites including bedded chert and tourmalinite in some massive sulfide deposits. This suggests that the main host rocks of the Dachang deposits are of exhalative sedimentary origin. On the contrary, minor thin layers of sericitic and sericite-bearing feldspar-rich rock which are interbedded with the major siliceous host rock are generally higher in total REE content, and show an enrichment of LREE's over HREE's. These, therefore, have similar REE characteristics to those of the 40(reference) North American shales. This indicates that the above two kinds of host rocks in Dachang were formed by a combination of terrigenous and exhalative chemical sedimentary processes.

Also, the contents of eight trace elements (Ti, Zr, Nb, Y, Sc, Ga, Ce, P) of the host rocks in the Dachang ore deposits were determined. Simply comparing

the variation in trace element contents of the host rocks in the Dachang ore deposits with that of bedded chert and tourmalinite in some massive sulfide deposits as well as with that of sandstone, limestone and shale, the authors fail to reveal any significant regularities among them. However, according to cluster analysis with the Euclidean distance of the trace element composition based on eleven parameters including contents of the above eight elements and ratios of Zr/TiO_2 , Nb/Y , Ga/Sc , the geochemical classification of the host rocks in terms of the trace elements in the Dachang ore deposits shows markedly genetic significance: siliceous rocks, K-feldspar-rich rocks and tourmalinites could be classified as the group of exhalite-chert, and sericitic rocks and sericite-bearing feldspar-rich rocks could be assigned to the group of shales. Obviously, the geochemical characteristics of the trace elements, just like the REE characteristics, can provide new evidence for the role of exhalative processes in the formation of the Devonian host rocks in the Dachang tin-polymetallic ore field.

× × × × × × × × × × × × × ×

(上接74页 continued from p. 74)

volcanic rocks, Early Cretaceous sedimentary rocks and metamorphic rocks of Precambrian Chencai Group are respectively 0.7085—0.7289 (averagely 0.7151), 0.7137—0.7640 (averagely 0.7276) and 0.7456—0.9103 (averagely 0.7940). Fluorites from fluorite deposits in different types of wall rocks have fairly similar strontium composition, and $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios vary in the range of 0.7306—0.7710, with the average being 0.7500 or so. These data indicate that the strontium isotope composition of fluorite-forming fluids was controlled by mixed system of strontium isotopes derived from different sources. The three-component mixing model and F/Sr ratios of the rocks suggest that, during the mineralization of fluorite, about 57—76% F and 40—50% Sr (Ca) came from basement metamorphic rocks of Precambrian Chencai Group, while F derived from upper mantle did not exceed 24% on the average. This result demonstrates convincingly that metamorphic rocks of Precambrian Chencai Group is the main source bed for fluorite deposits in this area. $\delta^{18}O$ and δD values of water in fluorite inclusions are respectively +1.3—1.4‰ and -48.23—68.00‰, showing hydrogen and oxygen isotopic composition characters of geothermal water. It is believed from the above Sr, H, O isotopic data and field studies that, rather than being of volcanic hydrothermal origin, the fluorite deposits in this area should mainly attribute their formation to circulation and drawing of paleogeothermal waters.