

沉积改造层控矿床包裹体研究与矿床形成机理探讨

卢焕章 刘丛强

(中国科学院地球化学研究所)

内容提要: 本文通过流体包裹体研究, 结合沉积改造层控矿床的基本地质特征, 从物质来源、成矿流体的迁移富集和成矿作用的物理化学条件三个方面探讨了我国沉积改造层控矿床的形成机理。

关键词: 沉积改造层控矿床 流体包裹体 物质来源 成矿流体 成矿作用

关于沉积改造作用和沉积改造层控矿床地质特征, 涂光炽先生在《层控矿床》第一卷中有

表 1 沉积改造层控矿床的基本地质特征以及与沉积-变质矿床对比

Table 1. Basic geological characteristics of sedimentary-transformed stratatound deposits in contrast to sedimentary-metamorphic deposits

类 型	沉 积 改 造 矿 床		沉积-变质矿床
	沉积-轻微改造矿床	沉积-强烈改造矿床	
控制矿床的主要地质因素	地层、岩性、岩相	地层、岩性、岩相、构造	地层、变质程度
围岩	基本未变质	基本未变质	绿片岩相以上的变质岩
构造控制	微弱	强烈, 矿体常受断裂破碎带控制	褶皱控制多见
矿体与围岩的关系	整合为主	不整合多见	整合为主
矿体形态	层状、似层状为主	复杂, 见透镜状矿体	似层状、透镜状
矿石结构构造	细粒, 层理清楚, 有时见韵律	被改造部分为粗粒, 残留沉积结构	条带状等变质结构
改造或变质阶段的体系	轻微开放体系	强烈开放体系	主要是封闭体系
改造或变质阶段的热液	来源于大气降水的地下水热液	地下水热液、热卤水	变质热液
改造或变质阶段的围压	不均一	很不均一, 方向性强	基本均匀
改造或变质阶段的新生矿物	无	少	大量
成矿物质的迁移	少	大量迁移	少
硫同位素特征	$\delta^{34}\text{S}$ 值范围宽广, 不集中	$\delta^{34}\text{S}$ 有某些均一化	$\delta^{34}\text{S}$ 强烈均一化
铅同位素特征	正常铅, 矿石模式年龄与围岩一致	单源铅, 有时为混合铅	铅同位素被均一化, 示变质年龄
温度和压力	略高于成岩时的 t 和 P	$t < 300^\circ\text{C}$ $P < 10 \times 10^7\text{Pa}$	$t > 300^\circ\text{C}$ $P > 1000 \times 10^7\text{Pa}$

据涂光炽等(1984)

详细叙述,并与沉积变质矿床进行了对比(表1)。本文是在上述工作的基础上,以包裹体研究为重点,来探讨沉积改造层控矿床的形成机理。

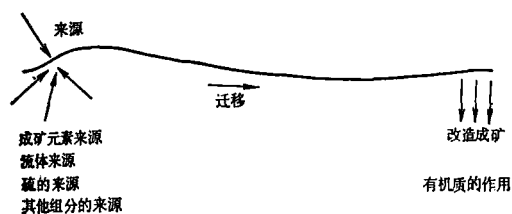


图1 沉积改造机理的要素示意图

Fig.1. Schematic diagram illustrating features of sedimentation-transformation mechanism.

在探讨矿床的形成机理时,我们主要是要对形成矿床的三个阶段(来源、迁移、成矿作用)的诸要素加以测定、估计和说明(图1)。在成矿物质来源阶段主要说明成矿流体、成矿元素和其它组分的来源。如果是形成硫化物,还要说明硫的来源,因为 S^{2-} 在流体中溶解度很低。在迁移阶段,说明迁移的形式和驱动力是十分必要的。在成矿作用阶段要说明导致矿床沉淀的诸物理化学条件,尤其对于硫化物矿床来说要探讨硫化物的沉淀机制,细菌、有机质在成矿过程中的作用等。在讨论上述成矿机制时流体包裹体是最有效的手段之一。

一、沉积改造层控矿床的包裹体数据

(一) 密西西比型层控矿床

提到层控矿床,人们常常想起密西西比型层控铅锌、重晶石、萤石矿床。这类矿床中的流体包裹体,一些学者详细进行过研究,并由此得出了其成因可能是由于地下的热卤水改造而形成的认识。由于这一类型的矿床经常与油气田有空间上的关系,许多作者还对形成密西西比型层控矿床和油田卤水的成分进行了对比(表2)。从表中可知密西西比型矿床的成矿流体的温度为 $100-150^{\circ}\text{C}$,压力小于 $10 \times 10^7 \text{Pa}$,成分上主要为 Cl^- 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 的卤水,并含有数十到数百 ppm 的重金属元素(成矿元素)。其成分相近,温度、压力条件也几乎一致,所以许多人

表2 密西西比层控铅锌矿的成矿溶液与油田卤水的对比

Table 2. Comparison between ore-forming fluids of Mississippi type stratabound lead-zinc deposits and oilfield brine.

	流 体 包 裹 体	油 田 卤 水
温度 $t(^{\circ}\text{C})$	100—150	130—150
压力 $p(10^5 \text{Pa})$	<1000	388—843
M_{gCl} (mg/L)	5900—120000	71520—207400
M_{gNa} (mg/L)	27000—53400	29000—79100
M_{gCa} (mg/L)	1700—20400	4140—74800
M_{gK} (mg/L)	2500	243—7080
Na/K (原子比)	21—36	40—370
Na/Ca (原子比)	2.7	1.4—17
Zn/Pb (原子比)	35(?)	3—25
pH		<5.7
甲烷 (ppm)	800	少量

据 E. Røedder (1978)

相信形成密西西比型层控矿床的成矿溶液是在地下运行的卤水,并且与附近的油田水有某种成因上的联系。

(二) 我国的沉积改造层控矿床

存在于各种矿物中的包裹体是作为形成这个矿物(矿床)的成矿流体的样品保存下来的。对它的研究可以了解到成矿流体的各种物理化学参数,即成矿流体的成分、来源和成因。下面通过包裹体研究获得的成果,来阐述我国沉积改造型矿床的形成条件和机理。

按照涂光炽先生的分类,沉积改造矿床包含了同生(沉积成岩)和后生(改造)两个有联系的成矿过程。根据这两个过程所占比例的不同,可以分为沉积-强烈改造(后生占主要地位)和沉积-弱改造(同生为主)两种类型。从矿种上可以分为铅锌矿、水晶矿、菱铁矿、锑汞矿床、冰洲石矿、银矿、铀矿、钨矿等。我们把国内这类矿床的包裹体研究结果简述如下:

1. 层控沉积改造矿床中包裹体的主要特征

我国沉积改造矿床中所见到的包裹体有以下几种类型(表3):

表3 我国沉积改造层控矿床的包裹体特征

Table 3. characteristics of inclusions in sedimentary-transformed stratabound deposits in China

矿床	主矿物	包裹体类型	大小(μm)	气液比(%)	分布特征	资料来源
铅锌矿(凡口、金顶、高板河等)	闪锌矿 方解石	I _A I II V	1—10	0 5—20 60	成群分布,有时具方向性	本文,《层控矿床》第1卷
金矿(奈林沟等)	石英	I _A I	7—30	0 5—30	孤立状分布	《层控矿床》第1卷
锑矿(锡矿山、公馆等)	石英、方解石	I	1—6	5—20	星点状分布	《层控矿床》第2卷
汞矿(万山、丹寨等)	方解石 辰砂 白云石	I _A I II IV V	2—10	0 5—10 60 15 15	成群分布	本文
钨矿(西安、沃溪、西冲等)	石英	I	2—10	15	成群分布	本文,《层控矿床》第2卷
冰洲石矿床(麻山、彭家沟、小布朗苏、青龙)	冰洲石	I _A I	2—10	0 15	成群分布	《层控矿床》第2卷
水晶矿(拱里、下甲、干平、观音洞等)	水晶	I II III V I _A	5—50	3—45 60—90 30 40 0	成群分布	本文,《层控矿床》第2卷

I_A—纯液体包裹体; I—液体包裹体; II—气体包裹体; III—含液体CO₂包裹体; IV—含子矿物包裹体; V—有机质包裹体

I_A 纯液体包裹体 常成群或分散状分布。在其中可见到1—2个带有小气泡的液体包裹

体。纯液体包裹体在冷冻时大部分可出现一个气泡。

I 液体包裹体 为我国沉积改造型矿床中包裹体的主要类型。常成群地分布于方解石、白云石、闪锌矿、萤石、水晶、石英、冰洲石中, 气体所占的体积百分数视各类矿床而异, 其范围为3—4%。

II 气体包裹体 在量上仅次于I。

III 含液体CO₂包裹体 少见。

IV 含子矿物包裹体 少见。

V 含有机质包裹体 见于铅锌矿、水晶矿和汞矿中, 可分为两种: 一种有机质呈气相, 常为椭圆形, 微带棕黑色, 气泡中间无亮点; 其次呈液相产出, 但不混溶。

从成因上看, 可以分为改造(后生)期和沉积期(同生)的包裹体。沉积(同生)期的样品中, 在显微镜下放大到800倍左右, 均见不到包裹体, 偶尔见到也只是纯液体包裹体, 个别见液体包裹体。而改造期(后期)的样品中可见到液体包裹体、气体包裹体、有机质包裹体, 以液、气体包裹体, 特别是液体包裹体为常见(如广东凡口)。正确区分后生和同生期包裹体是研究沉积改造矿床形成机理的关键。认识到这一点并不容易, 所以在许多已发表的文献中, 只是简单地叙述所见到的各种类型包裹体, 而未加以区分, 失去资料的利用价值。

2. 从流体包裹体获得的物理化学参数

利用包裹体均一法、冷冻法、压力估算法、压碎法、成分分析方法对沉积期和改造期的包裹体进行了测定, 现将结果列于表4。从表中可知:

(1) 均一温度: 范围为90—350℃, 但大部分数据落在150—250℃的范围内。

(2) 盐度: 盐度的范围3—26.3 wt% NaCl, 但大多数盐度落在4—13 wt% NaCl 的范围内, 属低到中等盐度的范围。盐度的变化很大, 可能是由于原始盐度较高的流体与大气降水不同程度的混合或者运行深度较浅的结果。

(3) 密度: 密度是根据由冷冻法确定的盐度及体系, 以及由均一法测得的均一温度来求得的。密度的范围为0.9—1.1 g/cm³。

(4) 压力: 根据卢焕章(1985)的资料, 由均一温度和盐度得出的最小成矿时的压力(即均一时的压力)值一般小于 8×10^7 Pa, 也就是说形成时的深度是在4 km以下。

(5) 成矿流体所属的体系: 根据流体包裹体的初熔温度的少量测定值以及成分分析的结果, 推定其属于NaCl—CaCl₂—H₂O体系。

我国一些沉积改造型层控矿床的盐度和均一温度关系见图2。从图可知, 沉积改造矿床中锑、汞和冰洲石矿床的成矿流体盐度较高, 一般在7—18 wt% NaCl^①, 而沉积改造的层控铅锌矿、钨矿、水晶矿其盐度相对较低, 为3—8 wt% NaCl。

(6) 成矿流体成分: 根据流体包裹体成分分析的结果, 表明其阳离子主要为Ca²⁺、Na⁺、K⁺、Mg²⁺, 阴离子主要为Cl⁻、HCO₃⁻、SO₄²⁻、F⁻等。把主要的阳离子和阴离子分别换算成原子百分数(有的分析数据因缺少某一阴离子项, 例如HCO₃⁻而无法计算), 列于表5。从表中可知在沉积改造的冰洲石、铅锌矿、水晶矿中, Ca+Mg的原子百分数均大于Na, 更大于K的原子百分数, 即次序为Ca+Mg>Na>K。在沉积改造的银矿床中, Na的原子百分数

① 盐度是指包裹体中各种离子浓度之总和, 用相当于NaCl的质量(%)来表示, 本文简化为wt.% NaCl来表示

表 4 我国沉积改造层控矿床包裹体均一温度、盐度、压力和密度

Table 4. Homogenization temperature, salinity, pressure and density of inclusions in sedimentary-transformed stratabound deposits in China

矿床	均一温度 (°C)	盐度 (wt. % NaCl)	密度 (g/cm ³)	压力 (10 ⁵ Pa)	资料来源
铅锌矿					
凡口	115—300	3.8—5.2	1.0	500	本文
金顶	277—350	5—14.6	0.9	600	《中国层控矿床地球化学》 第1卷
金矿床					
奈林沟	160—230	2.7			同上
金山	180—260				李兆麟、刘英俊
锑矿床					
锡矿山	143—200	7—15	1.0	200	《中国层控矿床地球化学》 第1卷
晴隆	134—189	7—13	1.0		同上
公馆	200—231	5.6—12.3	0.95	300	同上
汞矿床					
万山	95—183	9.7—26.3	1.1	400	本文
钨矿床					
湘西	145—214	3.7—9.3	0.95—1.05	350	《中国层控矿床地球化学》 第2卷及本文
青木下	169—235	5.0—5.2	0.93		同上
冰洲石矿床					
麻山	80—143	3.4—5.7	1.02		《中国层控矿床地球化学》 第2卷
彭家沟	138—144	12.3	1.05		同上
小布朗苏	152—155	4—9.9	1.0		同上
青龙	240—257	17.4	1.0		同上
水晶矿床					
干平	90—270	6.2—7.4	0.98		同上
观音洞	90—260	2.9—3.0	0.98	800	同上
拱里	110—300	4.9—6.3	0.95	200	同上
下甲	120—310	4.9	1.05	700—1000	本文
铀矿床					
产子坪	156—309 ^①				夏毓亮、黄世杰等

① 引自第2届层控矿床会议论文

图 2 我国一些沉积改造型层控矿床的均一温度和盐度范围

C—冰洲石, W—钨矿, Q—水晶矿, Zn、Pb—铅锌矿;
Sb、Hg—锑、汞矿

Fig. 2. Homogenization temperatures and salinities of some sedimentary-transformed stratabound deposits.

C—Iceland spar, W—Tungsten deposits, Q—Rock crystals, Zn, Pb—Lead and zinc deposits; Sb, Hg—Stibnite and mercury deposits.

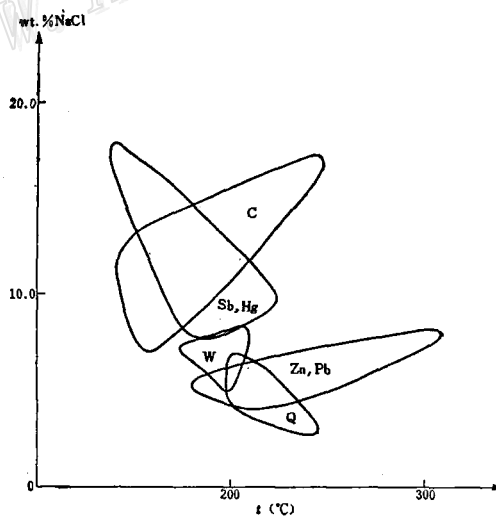


表 5 改造型矿床中流体包裹体成分数据
Table 5. Composition of fluid inclusions in transformed type deposits

矿 区	阳 离 子 (%)			阴 离 子 (%)			资 料 来 源
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	F ⁻ + Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	
层控冰洲石矿床	0.51	1.51	97.98				曹俊臣等 《层控矿床》第2卷
	0.65	2.07	97.28				
	0.61	1.89	97.50				
	0.53	1.63	97.84				
层控铀矿床	6.45	35.48	58.07	46.68	13.27	40.05	黄世杰等(1985) 第二届层控矿床会议论文集
	16.67	44.45	38.88	28.64	34.37	36.99	
	4.00	18.00	78.00	27.57	26.48	45.95	
	16.67	26.67	46.66	55.25	19.13	25.62	
	4.44	13.33	82.23	84.44	2.17	13.39	
	9.09	22.73	68.18	24.79	11.88	63.33	
	13.64	45.46	40.90	54.60	11.45	33.95	
	7.27	36.36	56.37	73.30	5.69	21.01	
层控改造型银矿床	2.65	96.85	0.50				程景平等 《层控矿床》第2卷
	2.60	96.95	0.45				
层控改造型铅锌矿	17.81	32.88	49.31				本文
	29.89	16.67	53.44				
	1.53	25.25	73.22				
	0.72	11.34	87.94				本文
	0.54	13.31	86.15				
层控改造型水晶矿	35.29	11.76	52.95				刘国彬、喻茨玫 《层控矿床》第2卷及本文
	5.01	2.69	92.30	36.95	0.72	62.32	
	14.29	4.76	80.95				
	10.53	5.27	84.20	8.67	1.72	89.61	
	3.90	3.71	92.39	11.03	9.95	79.02	
	8.87	22.32	68.90	33.97	0.96	65.07	
密西西比型铅锌矿	0.01	99.75	0.22				E. Roldder (1972)
油田卤水	0.00	99.83	0.07	99.74	0.00	0.26	L. Barneo (1979)
	0.00	99.67	0.33				

大于 Ca + Mg, 也大于 K。在改造型铀矿中, 绝大多数数据为 Ca + Mg > Na, 只有个别数据显示 Na > Ca + Mg, 或者两者相差不大。包裹体中的阴离子 (F⁻ + Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻) 主要为 Cl⁻ 和 HCO₃⁻。铀矿床和水晶矿床中的阴离子百分数, 有一半数据显示 F⁻ + Cl⁻ > HCO₃⁻, 有一半数据则相反。但有一共同的特点是两者均大于 SO₄²⁻ 的阴离子百分数。在流体包裹体的成分分析中是把溶液中所有硫变成 SO₄²⁻ 进行分析的。因而溶液中 SO₄²⁻ 的实际含量将相等, 绝大多数情况下将低于目前给出的值 (但足够形成硫化物)。所以这更证明成矿流体中主要阴离子为 Cl⁻ 和 HCO₃⁻。在其他一些沉积改造型矿床中 (如冰洲石、铅锌矿和银矿床), 因缺少个别阴离子数据而不能对比, 但可以相信, Cl⁻ ≥ HCO₃⁻, 而 SO₄²⁻ 总是最低的, 这是个总趋势。

对密西西比层控型矿床和油田卤水中的阴、阳离子也按上述办法进行了计算,表明其阳离子主要由 Na^+ , 阴离子主要由 Cl^- 所组成。显然这个组分与我国的大部分沉积改造型矿床的成矿流体有些不同,但与沉积改造银矿床的成矿流体的成分相似。

将表 5 的数据作图 3,从图中可知:

A. 在阳离子百分数图上,可见各种类型的层控沉积改造型矿床的成矿溶液均为贫K型,即 K^+ 的离子百分数一般小于 2%。

B. 除沉积改造的银矿外,阳离子主要为 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 的离子百分数大于 40%,尤以冰洲石矿床最高,可达 97% 以上。从图上可知,沉积改造的水晶矿、冰洲石矿、铀矿的阳离子成分不同,故分布在图上不同的区域。只有层控沉积改造的铅锌矿和铀矿在分布区域上有一定的重叠,表明其成矿液体成分相似。

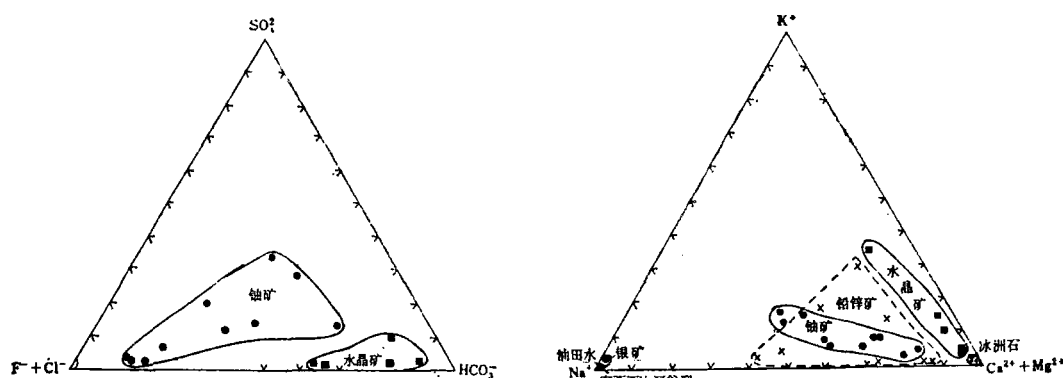


图 3 流体包裹体中阳、阴离子的百分数

Fig.3. Percentage of cations and anions in fluid inclusions.

C. Na 离子的百分含量是变化的,从几乎为 0 到 60%。以水晶和冰洲石中 Na 的离子数为最低,而以银矿中为最高 (达 97%)。

D. 阴离子主要为 $\text{F}^- + \text{Cl}^-$ 和 HCl^- , SO_4^{2-} 的含量较低。 HCO_3^- 的含量较高,表明其为浅部循环的地下水。

E. 与油田卤水和密西西比型矿床的成矿流体相比,只有沉积改造的银矿床与其相近,其余的均不同。其差别主要在于我国一些沉积改造型矿床的成矿流体中 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的含量比它们来的高。 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 可能来自于碳酸盐岩地层中。因为这些矿床绝大多数分布于碳酸盐岩地层。

(7) 成矿流体的稳定同位素研究,主要测定了 δD 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 。大部分 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值是根据主矿物的 $\delta^{18}\text{O}$ 值,然后根据一定公式计算而得的。图 4 表明大部分沉积改造矿床的成矿流体是来自地下热水,主要是大气降水所形成的热卤水。其 $\delta^{18}\text{O}$ 值有较大变化,表明流体在运移过程中和围岩物质进行了同位素交换。

(8) 有机质成分:在很多矿区的包裹体研究中,发现了较多的含有机质的包裹体。成分分析表明存在有许多 CH_4 (400—800 ppm)。

将包裹体研究得出的密西西比型和我国沉积改造型的资料列于表 6。从表中可知,我国的沉积改造型矿床与密西西比型矿床中的成矿流体相比,温度比较高,盐度、密度较之为低,

在成分上也有差别,我国的沉积改造型矿床以 $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 为次序,而密西西比型为 $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$, 水的来源也有所不同。

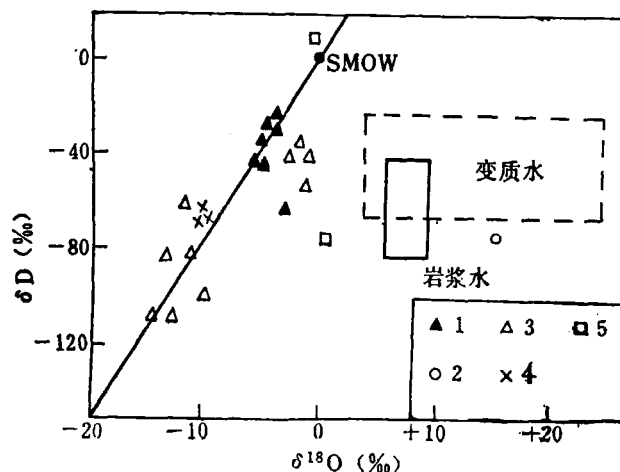


图4 我国一些沉积改造型层控矿床的流体包裹体中流体的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值

1—铅锌矿床; 2—银矿床; 3—冰洲石矿; 4—水晶矿床; 5—现代卤水

Fig.4. δD and $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ values of solutions in fluid inclusions of some sedimentary-transformed stratabound deposits in China.

1. Lead-zinc deposits; 2. Silver deposits; 3. Iceland spar deposits; 4. Rock crystal deposits; 5. Modern brine.

表6 我国沉积改造层控矿床与密西西比型矿床成矿流体特征对比

Table 6. Comparison in characteristics of ore-forming fluids between sedimentary-transformed stratabound deposits in China and Mississippi type deposits

密西西比层控矿床	我国沉积改造型矿床	
t 均一温度(℃)	100—150	150—250
s 盐度(wt%NaCl)	≥ 20	4—13(大多数)
ρ 密度(g/cm ³)	> 1.1	0.9—1.1
P 压力(10 ⁵ Pa)	< 1000	< 800
v 流速(m/a)	3	
成矿流体体系	NaCl-H ₂ O	CaCl ₂ -NaCl-H ₂ O
流体的成分	Cl ⁻ >Na ⁺ >Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺ >Na ⁺ >Mg ²⁺ >K ⁺ , Cl ⁻ ≥HCO ₃ ⁻ ≫SO ₄ ²⁻
δD (‰, SMOW)	-5—-35, 相当于卤水	大气降水为主, -20—-100
$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰, SMOW)	+0.04—-3, 相当于卤水	大气降水为主, +1—-15
成矿元素含量(ppm)	数十	未测
	充填作用远比交代作用发育	交代作用比充填作用更为发育

二、改造机理探讨

上面我们叙述了从包裹体研究所获得的数据及其地质意义。下面我们来讨论根据这些数据所得出的有关成因方面的信息。在沉积基础上的改造作用的机理, 需要解决三个问题, 即

来源(包括流体、硫、重金属及其它阳、阴离子)、迁移(主要是搬运形式)和交代改造作用(图1)。下面分别加以阐述。

(一) 成矿物质的来源 前面已经提到,我国绝大多数沉积改造型矿床的成矿流体的成分为 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 。根据 δD 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 的分析结果,成矿流体主要来自大气降水,并与深部循环的地层水有一定程度的混合。其中 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 和 Cl^- 可能主要是来自地层。当溶液中这些离子的含量增加,再加上逐渐往下渗透,流体的温度和压力升高。这时成矿的重金属元素及其它元素在溶液中的溶解度大大增加,变成了含有成矿元素的热卤水。关于沉积改造型矿床成矿流体中重金属元素的含量,由于国内尚未见这方面的数据。故我们在这里参考两个方面的数据:一是美国密西西比型铅锌矿中流体包裹体成分分析的数据(主要是重金属);二是现代卤水中金属元素的含量。现将这部分数据列于表7。从表中可知,在淡水中(主要是河水)几乎不含这类重金属,在海水中重金属含量甚微,而到了卤水(包括海底卤水,原生地层水,油田水等),则其含量大大增加。如果仔细地加以研究,重金属的含量与温度、压力、盐度、溶液中其它离子的种类、pH、Eh等条件密切相关。我们现在就盐度(即溶液中各种离子浓度之总和)与重金属含量之间的关系作一研究(表7)。在淡水中(盐度为0),重金属的浓度低于分析方法的检出限,可认为是零ppm。当盐度增至海水的盐度(盐度为3.2),相当于沉积成岩的开始条件,这时重金属在溶液中有一定含量,但均小于1ppm。在本次讨论中我们涉及到沉积改造矿床,所以我们以海水中盐度和重金属元素含量为基准来计算随着盐度的增加,溶液中重金属离子的浓度在变化(表7)。以密西西比层控铅锌矿的Zn离子为例,Zn在卤水(深海)、深部地层水、油田水、流体包裹体依次增加80—7900倍、90—9700倍、35700倍和1000—104000倍,与此相应盐度增长分别为8倍、9倍、5倍和6倍。如果我国沉积改造型矿床的成矿溶液也与此相似的话,那么也会含一定浓度的重金属。这样,含金属的热卤水,作用到已沉积的矿化层、沉积矿床,甚至地层中,则会产生交代作用,对已形成的地质体进行改造。

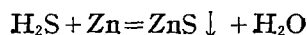
表7 随盐度增加引起的重金属离子含量增加(倍数)

Table 7. The increase in contents of heavy metal ions (number of times) with the salinity

	盐 度	Cu	Zn	Pb	Sb
海 水	1	1	1	1	1
深部卤水(海水)	7.5—8.2	5—2667	80—79000	6667— 3.4×10^6	80
深部地层水	7.4—9.7	300—5000	90—97000	70000— 3.5×10^6	100
油田水	4.6	67	35700	3.7×10^6	
流体包裹体	6.3	50000	1000—104000	666667	
淡 水	0	0	0	0	

上面我们讨论了成矿流体和重金属的来源。对硫化物矿床来说,硫的来源也是一个关键的问题。根据我国沉积改造型矿床中硫同位素的研究,表明硫均来自非岩浆源,即沉积来源。硫在流体中可能以 SO_4^{2-} 或其他易溶的硫络合物存在,而不可能以溶解度很低的 S^{2-} 出现。那么怎样有可能使 SO_4^{2-} 还原成 S^{2-} , S^{2-} 又如何与金属结合成硫化物矿床呢?其间可能是由于有机质或细菌的作用。与密西西比型层控矿床相似,我国的沉积改造型矿床中可见到许多

有机质和微生物,同时在这类矿床中发现了有机质包裹体,流体的成分分析也表明有 CH_4 等其他有机质存在。由于这些有机质或细菌的存在,并与 SO_4^{2-} 作用,则可使 SO_4^{2-} 变为 S^{2-} ,然后 S^{2-} 又与重金属离子(如Zn)作用变成 ZnS 。这样 ZnS 的成核作用比较容易,因为原先沉积层中已有了这种硫化物,即有了晶核,因而成核晶出硫化物相对较容易。 SO_4^{2-} 经细菌或有机质作用而生成 S^{2-} 的反应可以下列反应为代表:



(二) 迁移和改造的条件 流体(含有重金属的热卤水)是沿着地层中的孔隙或者断裂进行的。这种富含重金属和有机质的溶液在通过地层的孔隙或裂隙时,与周围的介质发生了质量、能量的交换,达到新的平衡,从而完成了改造的过程。根据从流体包裹体获得的数据,其改造时的物理化学条件为:

温度 $150-250^\circ\text{C}$;

压力 $<800 \times 10^5 \text{Pa}$;

密度 $1.0-1.1 \text{g/cm}^3$;

盐度 $4-13 \text{wt}\% \text{NaCl}$;

流体的体系 Ca-Na-Cl-HCO_3 。

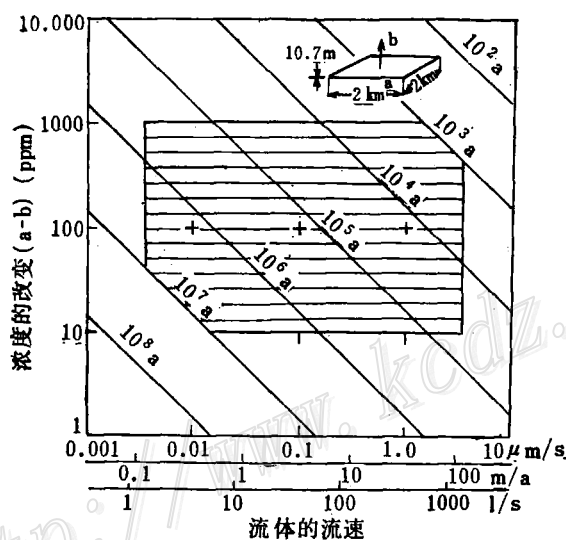


图5 浓度变化、流动速度和沉积时间三变量间的关系图(据Roedder, 1960)

图表示面积为 4km^2 ,厚度为 10.7m ,岩层中沉积品位为 10% 的 10^6t 矿石所需要的时间、流速和浓度变化(带入减去带出)之间的相互关系图解。假定岩石的容积密度为 2.34 ,体积孔隙度为 10% ,液体密度为 1.0 。从地质上讲,阴影区是大多数密西西比河谷型矿床形成条件最为有利的范围

Fig.5. Diagram illustrating relationships between three parameters—variation in concentration, velocity of flow and sedimentation time (After Roedder, 1960).

The diagram indicates the relationship between time, velocity of flow and variation in concentration during the deposition of 10^6t ore with grade of 10% in strata 4km^2 in area and 10.7m in thickness, supposing volume density of rocks to be 2.34 , volume porosity 10% and density of fluids 1.0 . The hatched area is geologically the most favorable area for formation of most Mississippi valley type deposits.

很明显,成矿流体的体积和重量比所形成的矿床本身一定要大得多,因此成矿流体不仅仅应该从溶解的位置被搬运到矿体位置去,而且许多相继而来的液体还必须连续通过矿体所在位置。这些成矿流体体积将与浓度变化成一种简单的反比关系(带入减去带出)。因此,如果这种浓度仅仅是1ppm的话,那么需要的流体比矿石多一百万倍;而浓度变化是100ppm时,则需要多达一万倍的流体。这些数值看起来可能是大的,但是用地质学的术语来说,它们并不是不合理的。

在图5中,用图解的方法在对数坐标图上表示出一个含矿10%(铅、锌或其它任何元素)的、储量为 10^8t 的极大型的理想层状矿床的浓度变化、流动速度和沉积时间这三个变量之间的相互关系。为了简便起见,编制了一个流动方向与岩层垂直的模式。实际上,大多数流动方向可能与岩层是平行的,但两者数学上计算的结果是相同的。作者相信,除了流体的成分等方向略有不同外,Roedder提出的计算模式显然也适用于沉积改造矿床。因而根据图中所列的条件,也可以在我国形成储量为 10^8t 的矿床。

三、结 论

上面我们讨论了沉积改造层控矿床形成的三个阶段(来源、迁移、成矿)的诸因素,并且详细给出了我国这类矿床的主要特征。在上述基础上我们可以把沉积改造的层控矿床的形

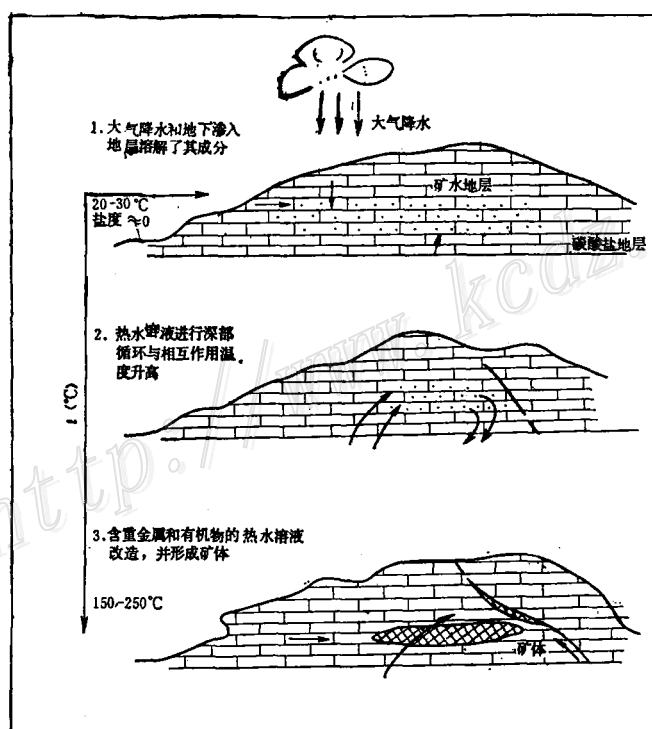


图6 沉积改造层控矿床形成的模式图

Fig.6. Model for the formation of sedimentary-transformed stratabound deposits.

成机理归结为以下的模式(图6):

1. 来自大气降水的流体渗透到碳酸盐地层中去, 在这过程中由于深部的循环作用(但其深度浅于密西西比型矿床的深度, 因为其水质偏 Cl^- 和 HCO_3^- 型, 而不是 Cl^- 型)形成地下热水溶液。

2. 这个热水溶液溶解了成矿金属, Ca^{2+} 、 Na^+ 、 HCO_3^- 、 Cl^- 等离子和有机质不断地对已矿化的地层或沉积矿床进行改造, 从而形成各种金属更为富集的矿床。在此过程中有机质或细菌起了很大的作用。

总起来说, 我国的沉积改造层控型矿床的形成机理与密西西比型相比是不同的(有一些相似之处), 这是由于具有不同的地质背景条件等因素所决定的。

涂光炽教授、杨敏之教授和魏家秀工程师对本文提出了宝贵意见, 文中引用了许多作者的资料, 在此一并表示谢意。

参 考 文 献

- [1] 涂光炽等 1984 《层控矿床地球化学》第1卷 科学出版社
- [2] 卢焕章 1985 凡口铅锌矿的成因 地球化学 第3期
- [3] 乌尔夫主编 1978 《层控矿床》第2卷 地质出版社
- [4] E. Roedder, 1985, Fluid Inclusions, Review in Mineralogy, Vol. 12, p.544.
- [5] R. L. Batnes ed., 1979, Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits.

A DISCUSSION ON FORMATION MECHANISM OF STRATABOUND ORE DEPOSITS IN CHINA—A FLUID INCLUSION APPROACH

Lu Huanzhang and Liu Congqiang

(Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guiyang, Guizhou)

Abstract

Based on geological characteristics of sedimentary-transformed stratabound deposits in China, the authors have made a fluid inclusion research to approach the formation mechanism of that sort of deposits in the light of their material sources, migration of ore-forming fluids and physical-chemical condition for mineralization.

The investigation shows that the ore-forming fluids, a special kind of H_2O , were originally heated meteoric waters which reacted with wall rocks and dissolved such components as Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- and Mg^{2+} . The metallogenic elements, other components of ore fluids and sulfur were mainly derived from

the wall rocks. The ore fluids are of Na-Ca-Cl-HCO₃ system with the salinity from 4 to 14 wt. % NaCl equivalent and density from 0.9 to 1.0 g/cm³. At the temperature of 150-250°C and under the pressure of 300 to 800 bars, possibly with the participation of bacteria or organic matter, there were formed various sedimentary-transformed stratabound deposits as they appear now.

学术活动

1987年矿床地质专业委员会学术活动安排

Academic Activities of Commission of Mineral Deposits to Be Held in 1987

中国地质学会矿床地质专业委员会根据常委工作会议的精神, 1987年将组织两次全国性的学术会议。

1. 环太平洋成矿带学术讨论会 这次会议是由中国地质学会矿床地质专业委员会、区域地质及区域成矿规律专业委员会、长春地质学院、吉林省地质学会共同发起的, 计划于1987年7月在长春市召开。

会议主要议题是: (1) 环太平洋成矿带的概念、时空分布及其成矿特征; (2) 环太平洋构造带及岩浆岩的形成、演化及其成矿作用; (3) 华北陆台东部环太平洋成矿带的成矿特征、矿化分布规律及找矿方向; (4) 华南和吉黑褶皱带东部环太平洋成矿带的成矿特征、矿床分布规律及找矿咨询建议; (5) 环太平洋成矿带内 Mo-Cu、Sn(W)、Pb-Zn-Cu、Au 及各类非金属等矿床的类型、成矿特征、矿床地球化学及时空演化规律; (6) 环太平洋成矿带与能源资源的形成和成矿预测。

会议进行期间还将组织代表实地考察长白山地区玄武岩中的宝石资源。

2. 第二届全国包裹体及成岩成矿学术会议 这次会议将由中国地质学会矿床地质专业委员会包裹体专业组及成岩成矿实验专业组、中国金属学会矿物包裹体专业组、中国有色金属学会矿物包裹体专业组、中国矿物岩石地球化学学会实验矿物岩石地球化学及矿物包裹体专业委员会联合筹备召开。时间暂定于1987年10月, 地点暂定为桂林。

会议主要内容是: (1) 交流和讨论近年来成岩成矿实验和包裹体研究的新成果; (2) 交流和讨论热力学和物理化学理论和成岩成矿和包裹体研究中的应用; (3) 交流和讨论包裹体同位素、包裹体在找矿工作中及其在其他领域中的应用; (4) 交流和讨论高温高压和包裹体研究中的新技术、新方法。

(中国地质学会矿床地质专业委员会秘书处供稿)