

滇东、黔西铅锌金属区 硫、铅同位素组成特征与成矿模式探讨

冶金工业部地质技术干部进修学院 廖文

对本区矿床成因的研究，早在半个多世纪以前就开始了。最早认为成矿与燕山期酸性岩浆活动有关，随后提出成矿与海西期基性岩浆活动有关。近年来，多数地质学家认为属于沉积改造矿床，但也有人提出属于渗流高氯热卤水矿床。作者就近年来收集到的硫、铅同位素资料，对本区铅锌矿床的成矿模式进行初步探讨，错误之处，请批评指正。

区域地质概况

区内沉积地层发育完全，铅锌矿床均赋存于不同地质时代的碳酸盐岩层内，属于典型的层控铅锌矿床。控矿层位有上震旦统灯影组、下寒武统渔父村组和龙王庙组、上泥盆统宰格组、下石炭统摆佐组、中石炭统黄龙群、下二迭统栖霞茅口组。

本区西侧为小江经向构造带所限，东侧分布有岷都—紫云北西向构造带。上述主要构造带所挟持的地区，北东向构造断裂带发育较强烈，分布十分规则。北西向构造断裂带发育较弱，但与北东向构造断裂带共同控制矿床的空间分布。

上震旦统和下寒武统地层中有零星的酸性小岩体侵入，一般认为属于晋宁期或加里东期。石炭纪黔西有小规模的玄武岩喷发。二迭纪有大规模的裂隙性陆相喷溢玄武岩。局部地区可见辉长岩床或辉绿岩脉产出。

按主金属矿物组合特征，本区铅锌矿床可分为二类五型：

I. 铅锌黄铁矿类

A. 富铅锌黄铁矿型，如矿山厂、麒麟厂、毛坪、杉树林等。

B. 贫铅锌黄铁矿型，如洛泽河、雨录等。

II. 铅锌类

C. 铅锌型，如金沙厂。

D. 铅型，如银厂。

E. 锌型，如茂租。

硫同位素组成特征

据 105 个硫同位素组成测定结果的分区统计（表 1），除普安外均为正值。 δS^{34} 值的变化范围为 $-3.8 \sim +29.2\%$ ，与天然含硫物质比较，具有海水硫酸盐的特征（图 1）^{〔1〕}。

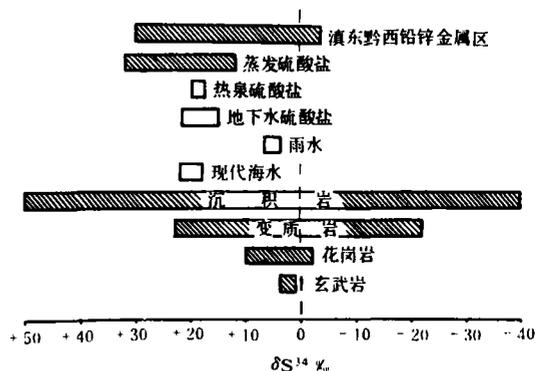


图 1 滇东、黔西铅锌金属区 δS^{34} 值与自然界含硫物质对比

由表 1 可知：各个矿床硫化矿物的 δS^{34} 值，一般都是黄铁矿 $>$ 闪锌矿 $>$ 方铅矿，与平衡交换顺序一致，说明是在同位素平衡的情况下沉淀的；所有矿床 δS^{34} 值的变化区间都较为狭窄，这一方面说明硫源单一，同时也说明大部分矿床氧化硫转化为还原硫是在较高温度 ($>80^{\circ}\text{C}$) 条件下进行的^{〔2〕}；但是，不同矿床 δS^{34} 值的变化区间存在某些差别，这可能与有机质含量有关，含有机质较高者变化区间稍大，如麒麟厂和杉树林；含有机质较低者变化区间略小，如矿山厂。

将赋存于不同地层的铅锌矿床的硫同位素组成测定结果与 δS^{34} 值年代曲线对比（图 2）^{〔1〕}，可以看到多数矿床 δS^{34} 值偏离年代曲线较远，即轻硫较富。这是由于受陆源淡水影响所致，是半

硫同位素组成测定结果统计

表1

矿区名称	样品性质	测定对象	样品数	δS^{34} (‰)			
				最低	最高	区间	平均
矿山厂	小矿体中的方铅矿, 主矿体中的残留方铅矿, 近矿围岩中的浸染状方铅矿、闪锌矿	方铅矿	19	+ 4.8	+ 8.9	4.1	+ 6.5
		闪锌矿	4	+ 6.9	+ 9.1	2.2	+ 8.3
麒麟厂	硫化矿体矿石	方铅矿	6	+ 8.5	+ 10.8	2.3	+ 9.6
		闪锌矿	8	+ 10.8	+ 16.3	5.5	+ 12.8
		黄铁矿	6	+ 12.1	+ 15.2	3.1	+ 13.6
杉树林	硫化铅锌矿石	方铅矿	7	+ 10.5	+ 13.4	2.0	+ 11.5
		闪锌矿	6	+ 14.9	+ 18.3	1.4	+ 15.6
		黄铁矿	4	+ 14.7	+ 17.5	2.3	+ 15.8
	C ₁ 泥质灰岩中散点状沉积黄铁矿	黄铁矿	1				+ 5.0
银矿包	细脉状黄铁矿	黄铁矿	1				+ 17.9
毛坪	块状铅锌硫化矿	闪锌矿	1				+ 19.3
普安	C ₃ 铅锌矿体	方铅矿	3	- 3.8	+ 1.0	4.8	- 2.2
		闪锌矿	1				- 1.7
	D ₁ d 铅锌矿体	方铅矿	1				+ 4.6
		闪锌矿	3	- 0.8	+ 5.2	6.0	+ 3.1
洛泽河	含铅锌的黄铁矿矿石	黄铁矿	29	+ 20.1	+ 24.3	4.2	+ 22.2
雨录	同上	黄铁矿	1				+ 29.2
五星	脉状铅锌矿石	闪锌矿	1				+ 11.8
茂租	似层状铅锌矿石	方铅矿	1				+ 12.6
		闪锌矿	1				+ 14.1
金沙厂	铅锌硫化矿石	方铅矿	1				+ 8.2

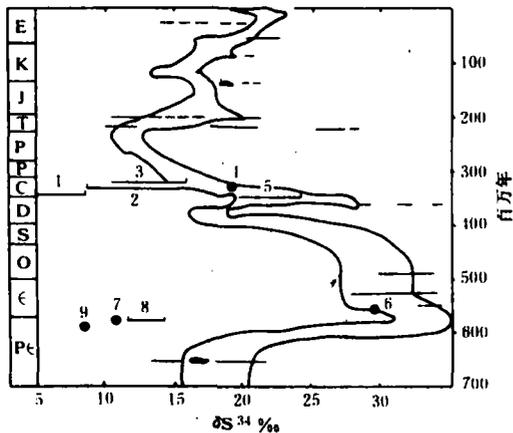


图2 滇东、黔西铅锌金属区 δS^{34} 值与海水硫酸盐年代曲线对比 (据 Holser, 1977)
 1—矿山厂; 2—麒麟厂; 3—杉树林;
 4—毛坪; 5—洛泽河; 6—雨录; 7—五星; 8—茂租; G—金沙河

封闭海湾海水硫酸盐的特征^[3]。某些接近 δS^{34} 值年代曲线的矿床, 是由于特殊的古地理位置, 使其很少受到淡水的影响, 如毛坪、洛泽河、雨录等。

普安是本区 δS^{34} 值唯一出现负值的矿区, 这是由于这里处于半封闭海湾与外海联通的海水较深的部位, 具有使氧化硫转化为还原硫的开放系统环境, 在这种条件下, 细菌还原作用可能是主要的^[2]。

铅同位素组成特征

铅同位素组成的变化较大: Pb^{206}/Pb^{204} 为17.98~21.35; Pb^{207}/Pb^{204} 为15.36~16.18; Pb^{208}/Pb^{204} 为36.93~41.79; Pb^{204} 变化于1.33~1.53%之间(表2)。

铅同位素组成测定成果

表 2

序号	样品编号	采样地点	Pb ²⁰⁴ %	Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷	Pb ²⁰⁸	Pb ²⁰⁶	资料来源	备注
				Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁷		
1		富乐厂		18.65	15.95	39.59	1.17	(2)	1.资料来源: (1) 原西南冶金地质勘探公司三一五队 (2) 地质部宜昌地质矿产研究所, 1979, 铅同位素地质研究的基本问题 (3) 地球化学, 1980, 第3期 (4) 云南地质科技情报, 1978, 第3、4期合刊 (5) 贵州冶金地质二队 (6) 云南冶金第四矿 (7) 中国科学院地球化学研究所 2.除(2)、(4)外, 全部由中国科学院地球化学研究所测定
2	Pb-06	富乐厂		18.65	15.83	39.66	1.17	(3)	
3	I-103	毛坪		18.34	15.40	38.79	1.19	(1)	
4	33-y 3003	杉树林	1.37	18.34	15.36	38.30	1.19	(5)	
5	26坑	杉树林	1.53	18.49	15.61	38.98	1.19	(5)	
6	No 1	杉树林		18.62	15.74	39.34	1.18	(5)	
7	No 2	杉树林		18.54	15.72	39.26	1.18	(5)	
8	I 80-2	银厂坡		18.13	15.44	38.42	1.17	(1)	
9	I 80-3	银厂坡		18.12	15.50	38.36	1.18	(1)	
10	I-107	麒麟厂		18.32	15.50	38.70	1.18	(1)	
11	I-105	麒麟厂		18.83	15.88	40.62	1.19	(1)	
12	C-7	麒麟厂	1.36	18.20	15.68	38.75	1.17	(6)	
13	I-101	矿山厂		18.45	15.75	39.42	1.17	(1)	
14	I-109	矿山厂		17.98	15.01	36.93	1.20	(1)	
15	180-1	矿山厂		18.14	15.43	38.49	1.18	(1)	
16	180-4	矿山厂		18.22	15.63	38.68	1.17	(1)	
17	180-5	矿山厂		18.22	15.63	38.67	1.17	(1)	
18	C-1	矿山厂	1.36	18.28	15.53	38.72	1.18	(6)	
19	C-2	矿山厂	1.37	18.18	15.42	38.39	1.17	(6)	
20	C-3	矿山厂	1.36	18.20	16.61	38.73	1.17	(6)	
21	C-4	矿山厂	1.37	18.11	15.42	38.46	1.17	(6)	
22		会泽		18.49	15.61	38.98	1.18	(2)	
23	C-8	会泽		18.82	16.18	40.47	1.16	(3)	
24	I-106	烂银厂		19.11	15.78	39.87	1.21	(1)	
25	23-7	响水河	1.34	18.84	15.73	39.05	1.20	(5)	
26	23-7-14	响水河	1.33	19.03	15.99	39.19	1.19	(5)	
27	Pb-27	普安		18.36	15.67	39.21	1.17	(5)	
28	Pb-28	普安		18.33	15.72	39.02	1.17	(5)	
29	I-102	五星		19.38	15.58	40.37	1.24	(1)	
30	I-104	茂租		17.98	15.47	38.01	1.16	(1)	
31	I-106	金沙厂		21.17	16.14	41.74	1.31	(1)	
32	Pb-9	金沙厂		20.97	15.65	40.65	1.34	(4)	
33		金沙厂		20.48	15.42	40.03	1.33	(7)	
34		金沙厂		21.35	15.90	41.79	1.34	(7)	
35	Pb-35	洛红		20.34	15.81	39.42	1.26	(4)	

图3 (据 Cannon, Pierce, 1969) 表明, 本区大部分铅同位素分布在零等时线附近, 属正常铅同位素组成; 金沙厂接近 J 型铅, 属异常铅同位素组成; 正常铅明显地偏向 Th 铅, 说明受中国大陆地壳富钍的影响^[11]。

图4 表明: Pb^{207}/Pb^{204} 增长缓慢, 除个别矿床外, 普遍处于低 μ 值的环境; Pb^{206}/Pb^{204} 增长较快, 显示向 J 型铅发展。

不同模式的铅同位素年龄相差悬殊, 且大部分年龄均为负值, 由图还可以看出, 所有数据都在零等时线右侧, 说明本区矿石铅基本上都经历过多阶段的演化过程。

表2 第14号样品 $Pb^{207}/Pb^{204} < 15.3$, 即低

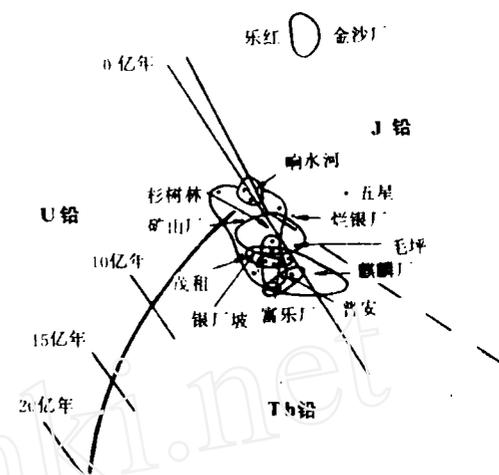


图3 滇东、黔西铅锌金属区铅同位素分布特征

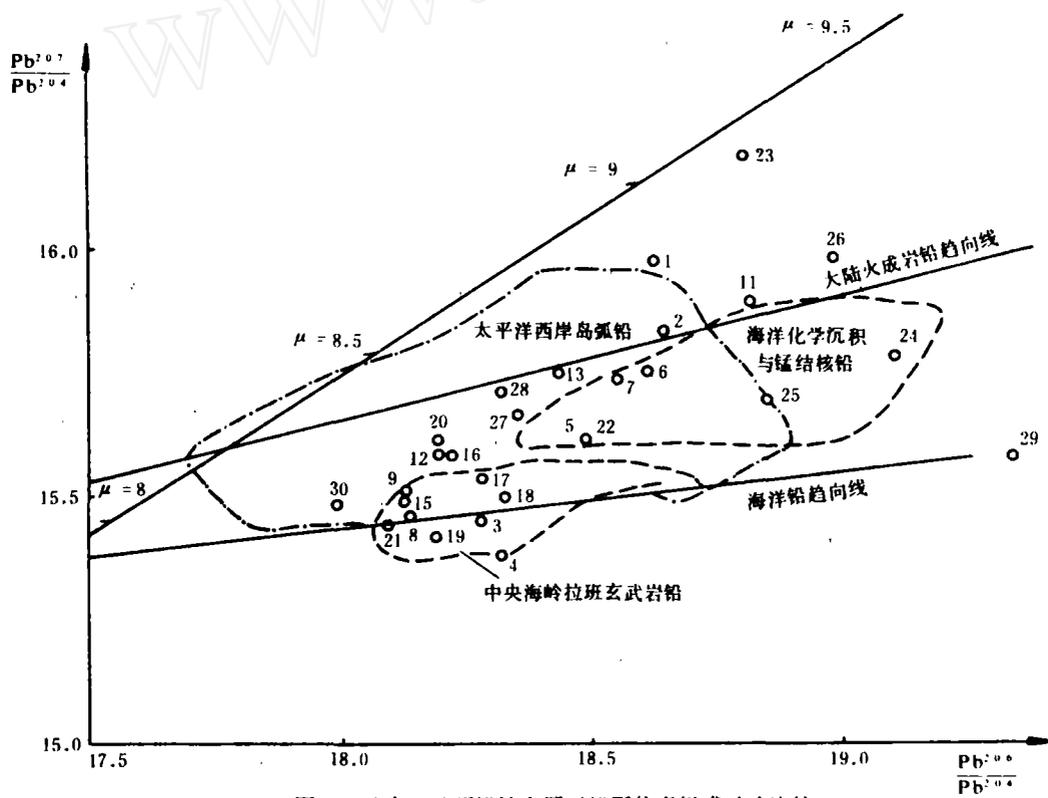


图4 滇东、黔西铅锌金属区铅同位素组成示踪比较
(据陈毓蔚, 1980)
(图中数字为表5中的顺序号)

于目前地幔物质铅的最低值, 可能与测量误差有关^[13]。

成矿模式

(一) 关于成矿物质来源问题

根据硫、铅同位素组成特征, 成矿物质硫和成矿金属物质的来源是不同的。

1. 成矿物质硫的来源: 由图5可以看出: 本区铅锌矿床 δS^{34} 值和夕卡岩热液矿床水口山迥然不同, 和沉积改造矿床凡口基本类似。成矿物



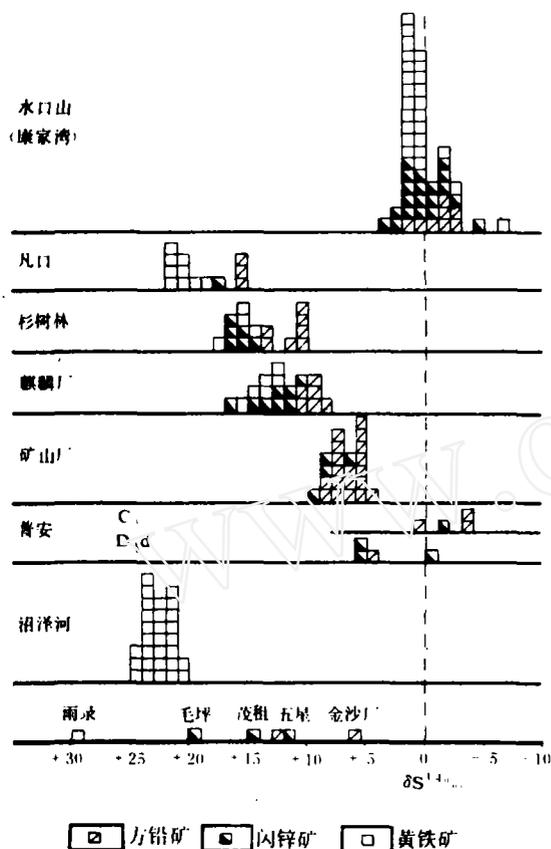


图5 滇东、黔西铅锌矿床 δS^{34} 值分布特征及其与凡口、水口山矿床对比

质硫不属于内生硫，而是表生硫。

岩相古地理研究证实，本区层控铅锌矿床均分布于各地质时期的半封闭式海湾内，这无疑是形成硫酸盐卤水较为有利的场所。控矿地层的沉积序列表明，不同地质时代的控矿地层均成生于海平面下降的初始阶段，这无疑是形成硫酸盐卤水最为有利的时机。据 H. Ohmoto 和 R.O. Rye 的研究，在温度高于 80°C 的条件下，有机还原作用能在较短的时间内使 SO_4^{2-} 完全转化为 H_2S ，所以可以保持与原海水硫酸盐 δS^{34} 值类似的变化范围^[4]。对照图 2、5、6 不难看出：矿山厂和麒麟厂位于滩的深水边缘，受陆源淡水影响较大，故轻硫较富；杉树林位于与外海相通的槽沟一侧，故较为接近该地质时期海水硫酸盐的 δS^{34} 值。这些特征都说明很好地保存了原海水硫酸盐形成环境的特点。

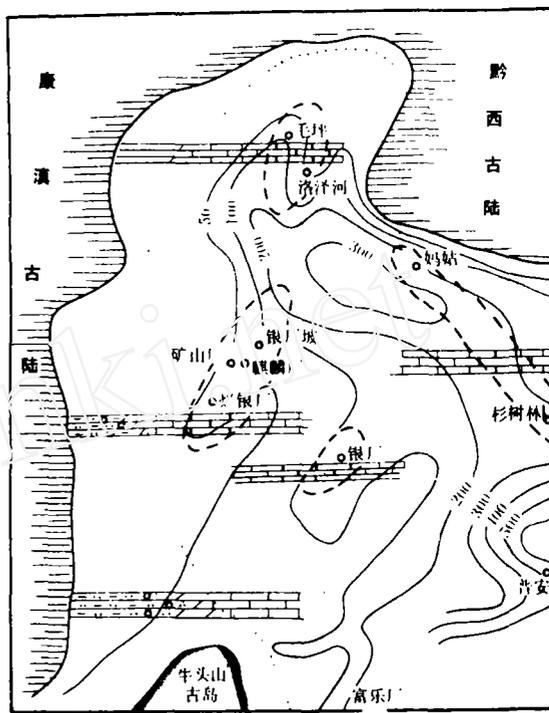


图6 晚石炭世至早二叠世岩相古地理图

据上述可以推测，参与成矿的主要是同生海水硫酸盐。

2. 成矿金属物质的来源：铅同位素组成特征表明，本区铅锌矿床成矿金属物质的来源是复杂的、多方面的。现按前述分类对成矿金属物质的来源进行具体分析。

(1) 铅锌黄铁矿类 据图 4 本类型矿床铅同位素分布状况见表 3。

铅锌黄铁矿类矿床同位素分布状况 表 3

矿区	测定数 (个)	玄武岩铅	岛弧铅	海洋沉积铅	性质不明铅	其他	备注
矿山厂	14	5	5	2	1	1	会泽 2 个并入
银厂坡	2	2					矿山厂，矿山
杉树林	4	1			3		厂还包括麒麟
毛坪	1	1					厂、烂银厂。
富乐厂	2		1			1	其中一个属测
普安	2		2				定误差未列入
合计	25	9	8	2	4	2	

岛弧铅与玄武岩铅都属于岩浆岩铅。从图4可以看出:落在岛弧铅范围内的点,都非常靠近玄武岩铅,两者合计17个,占68%;海洋沉积铅2个,即海相沉积地层中的铅占8%;性质不明铅4个,既可能是岛弧铅,也可能是海洋沉淀铅,占16%;其他2个,都属于高 μ 值铅,占8%。

由图4还可以看出:本类型矿床部分铅同位素组成沿大陆火成岩铅趋向线呈线性分布,表明成矿物质的来源与大陆火成岩—陆相喷发玄武岩的关系很密切。

据上述可以认为:本类型矿床的成矿金属物质主要来源于上覆二迭纪玄武岩,但有古老地壳铅和上部沉积地层铅加入。加入的途径有二,其一是基性岩浆向上运移时被同化;其二是含有有机质的地表水,风化淋滤玄武岩中的成矿金属物质而成的表生下降成矿溶液,在深部循环过程中,有上部沉积地层和古老地壳中的成矿金属物质被带入。或者两者兼备。

(2) 铅锌矿类 本类型矿床的矿物共生组合各异,说明成矿物质来源、成矿条件不尽一致。现依据已有同位素测定资料,结合地质地球化学特征,对各类型矿床的成矿金属物质来源作出某些初步推测。

①铅锌型:典型矿床是金沙厂,Pb/Zn值为0.80。 Pb^{206}/Pb^{207} 为1.31~1.34,属异常铅,推测成矿金属物质来源于上覆寒武系沉积地层。

综合滇东北寒武系金属量测量资料,下寒武统含成矿金属物质特别高, $Pb_{10}>30000\text{ppm}$, $Zn<20\sim400\text{ppm}$ 。

下寒武统黑色建造含U₁₀~890ppm,不少地段已构成工业矿体,可视为异常铅的来源。

矿石含 SiO_2 达58.88%,显著高于铅锌黄铁矿类,可能与下寒武统富含 SiO_2 的陆源碎屑沉积地层有关。

闪锌矿含锗0.0005%,较铅锌黄铁矿类矿石约低两个数量级,也可能与成矿金属物质来源于贫锗的沉积地层有关。

②铅型:典型矿床是银厂。五星矿床大部分为单铅矿脉,亦可归属此类。

矿体赋存于上震旦统及下寒武统的张性断裂

中,矿石具有某些类似金沙厂的特点:矿石含 $SiO_2>60\%$;闪锌矿含锗为0.0013%; Pb^{206}/Pb^{207} 为1.24,接近金沙厂。推测成矿金属物质的主要来源与金沙厂同。

③锌型:典型矿床是茂租,Pb/Zn比值为0.16。B. R. Doe指出:成矿物质来源与岩浆岩有关,其铅同位素组成的 $Pb^{206}/Pb^{204}<19.5$, $Pb^{208}/Pb^{204}<39^{1.5}$ 。茂租铅同位素组成测定结果(表3)表明,其成矿金属物质来源与岩浆岩有关。而 $Pb^{207}/Pb^{204}<15.5$,可以认为成矿金属物质可能来源于地壳深部岩浆岩^[4]。

(二) 关于定位机制问题

多数矿床属于后生定位,个别矿床属于同生定位。

1. 同生定位机制:茂租铅锌矿床赋存于上震旦统灯影组细至粗粒结晶白云岩内。矿石具有典型的层纹状构造,铅同位素组成接近海洋铅趋向线(图4),不同的铅同位素模式年龄较接近,取其最大值为523百万年,说明属同生定位成矿。

δS^{34} 值(表1)与早寒武世海水硫酸盐 δS^{34} 平均值+27%相差甚远,根据矿石中有机质含量可达2%和较多的磷酸盐矿物,推测氧化硫转变成还原硫,可能是在有机质或和ATP、APS的分解作用下完成的^[11]。

成矿作用是在海底条件下进行的。推测来自地壳深处的成矿热(卤)水溶液,沿海底断裂呈温泉形式溢出,与还原硫作用而成矿。成矿后活化转移现象明显。重结晶晶体粗大的硫化矿物沿层产出,或呈脉状产生,并常伴生有萤石,说明F在活化转移中起重要作用。但并未独立形成具有较大工业意义的矿体。闪锌矿、方铅矿硫同位素矿物对温度为221℃(据Ohmoto、Rye, 1979),为活化转移矿物形成温度。

2. 后生定位机制:据硫同位素组成特征, SO_4^{2-} 转化为 H_2S 是在深埋藏条件下,当地热增温 $T>80\text{C}$ 时进行的。在这样的条件下,有硫酸盐卤水参与,对于结晶白云岩化也是非常有利的。

构造运动所形成的减压区,使富含 H_2S_{aq} ,HS⁻的热卤水溶液进一步集中,并由此而决定了矿床空间位置和矿体形态。

铅同位素的组成特征表明,成矿金属物质的来源是多方面的。构造运动改变含成矿金属物质的热(卤)水溶液的水动力条件,使其向减压区运移,当其和富含还原硫的热(卤)水溶液汇合后而成矿。

硫同位素矿物对温度基本上与均一温度相符合。麒麟厂硫同位素矿物对温度(表4)的分布状况,表现出后生定位成矿热(卤)水活动的某些迹象。

麒麟厂闪锌矿、方铅矿硫同位素矿物对温度 表4

中段	矿物对数	平均温度(°C)
9	2	143
10	矿体顶部	182
	矿体中部	178
	矿体底部	191
11	1	161

在和大气隔绝的较深部位成矿时,由于有机还原作用使 SO_4^{2-} 迅速而完全地转化成 H_2S ,硫酸盐矿物较为罕见,如矿山厂和麒麟厂。若是在浅成条件下,有大气氧的加入,硫酸盐矿物则大量出现,如金沙厂。

结 束 语

赋存于碳酸盐地层中的重硫型铅锌矿床,国内外地质学家多设想其硫来自邻近的油田卤水或蒸发盆地。作者通过对岩相古地理资料和控矿地层的沉积序列分析,认为成矿物质硫主要来源于

同生海水硫酸盐。而基于海水硫酸盐的形成时机,建立层控与时控的关系,从而阐明了在广大范围内,矿体赋存在某一特定层位的原因。

硫同位素组成特征是其形成环境和后期演化的急敛反映。深入研究硫同位素的分馏机制及其组成特征,不仅有助于确定成矿物质硫的来源,而且有助于阐明成矿环境的物理化学条件。

铅同位素示踪比较,不仅清楚地表明成矿物质的多源性,而且对于确定其具体来源提供了可以追寻的线索。结合区域地球化学特征,以及微量元素类比研究,可以更好地确定矿源层或矿源岩。

成矿模式可概括如下:来源于多方面的含成矿金属物质的热(卤)水溶液,与水体或地层内的富硫溶液(卤水)结合而成矿。

云南冶金第四矿、贵州冶金地质二队、湖南冶金地质勘探二一七队等单位为本文提供了宝贵的铅、硫同位素测定资料,使本文得到充实,特此表示衷心的感谢。

主要参考文献

- [1] J. Hoefs, Stable Isotope geochemistry, SpringerVerlag, 1980
- [2] H. Ohmoto, R. O. Rye, Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 陈锦石摘译, 国外地质, 1980, 第1期
- [3] В. А. Гриненко и др., Геохимия ию голов серы, изд. «Наука», М., 1974
- [4] 陈毓蔚等, 地球化学, 1980, 第3期

金厂金镍矿床形成的地球化学过程

基建工程兵黄金指挥部 蒋 志

金厂是一大型金镍矿床。在找矿勘探过程中,对矿床成因得出了多来源、多成因、多阶段的总认识。但对矿质来源问题存在着不同的看法,如与超基性岩

有关的中低温热液说^[1],与砂板岩(包括其中的火山岩)有关的变质热液说^[2],与中酸性岩脉有关的中低温热液说,双叠加中低温热液说*,与板块活动

* 中国人民解放军基建工程兵黄金指挥部研究所、〇〇五三三部队,云南墨江金厂金矿物质组份与矿床成因初步研究报告,1981。