



再谈我国两个前寒武纪层状(层控)

铜矿床的硫同位素组成

王可南

东川和篦子沟铜矿床的硫同位素组成, 作者在1978、1979年曾先后进行了介绍^[1, 2]。指出两矿床的硫化物硫同位素组成可能与海水硫酸盐的还原作用有关。并认为这类矿床可以泛称为沉积变质矿床, 不宜统称为火山—沉积变质铜矿床。最近, 主张海底火山硫源的人对此提出了不同的看法和论据^[3], 而且这种探讨还涉及着我国前寒武纪几个著名铜矿床的硫源问题, 因此, 确有进一步讨论的必要。

一、铜矿床的地质—地球化学特征和硫同位素组成简介

1. 东川铜矿床: 该矿床的地质地球化学特征, 文献曾多次报道, 不再重述。现仅就与本文命题有关的方面加以简单说明。

(1) 从地质特征上看, 铜矿床赋存于白云岩或泥质白云岩中。主要为一套与陆源碎屑和化学沉积有关的岩层。在白云岩中的铜矿石常具有明显的迭层石构造。到目前为止, 在含矿围岩中尚未发现火山岩或较明显的火山凝灰质物质; 地球化学资料中, 无论是常量元素或微量元素也尚未发现与火山岩有明显联系的迹象。

(2) 从硫同位素组成资料看, 据44个硫同位素测定资料(测定矿物为斑铜矿、黄铜矿、辉铜矿和黄铁矿), δS^{34} 的变化范围较大, 为 -3.8% ~ $+14.5\%$ 。平均值为 $+4.2\%$ 。以富集重硫为特征。自过渡层底部到白云岩中部, 一般沿层理分布的铜硫化物越向上部越富集重硫。

考虑到本区铜矿床和迭层石(古藻)存在着密切关系, 且硫同位素组成符合在封闭条件下细菌还原硫酸盐的特征, 结合矿床地质资料, 看来, 把东川铜矿床硫化物硫解释为海水硫酸盐的生物(细菌)还原作用^[4]是比较合理的。

2. 篦子沟铜矿床: 该矿床赋存于中条群篦子

沟组中。“含矿岩石主要为变泥质、白云质灰岩、变钠质(层)凝灰岩和变炭质半泥质岩等。其原始沉积环境为浅海海湾沉积, 其区域变质相属绿帘石、角闪岩相”^[5]。根据山西省地质局214队的资料^[6], 分布于含铜岩系顶、底部的白云石大理岩中有呈圆柱状和锥状的迭层石。而在黑色片岩与泥质大理岩中尚含有丰富的古微体植物化石。据矿体中黄铁矿、黄铜矿和石英等矿物的爆裂法测温资料, 成矿温度的主要区间为 $250 \sim 400^\circ\text{C}$ 。 M_1 型(条带型)矿化的黄铁矿中 Co/Ni 为1.47, S/Se 为8005; M_2 型(细脉浸染型)的黄铁矿中 Co/Ni 为5.75, S/Se 为3546; M_3 型(脉型)的黄铁矿中 Co/Ni 为3.38, S/Se 为1962。硫同位素组成特征(测定矿物为黄铁矿、黄铜矿和磁黄铁矿)是: δS^{34} 均为正值。总的分散范围为 $+2.4\%$ ~ $+23.2\%$ ^[6]。不出现明显的塔式峰值和波浪式变化。而在 $+8.8\%$ ~ $+16.8\%$ 之间有一个相对集中区。同时, 代表晚期热液作用的 M_3 型矿化比早期热液成矿作用的 M_2 型矿化 δS^{34} 相对有所减少。

根据篦子沟铜矿床的地质—地球化学和硫同位数资料, 作者认为应说明以下几点。

(1) 从黄铁矿中 Co/Ni 和 S/Se 比值来看, M_2 型(M_3 型)较 M_1 型矿化黄铁矿中 Co/Ni 比值增高, S/Se 比值降低, 主要因为在热液条件下 Co 、 Se 易于和 Fe 、 S 发生类质同象代替有关。同理, M_1 型黄铁矿中的 Co/Ni 和 S/Se 也曾经受了变质作用的影响, 不能单纯视为初始沉积时的比值。因此, 这种黄铁矿中 Co/Ni 和 S/Se 的变化, 可以作为“热液环境”^[7]的一项标志, 不宜作为判断火山成因的一项“明确证据”^[8]。

(2) 从硫同位素资料看, 分析一下中条山地区三种类型铜矿的硫同位素组成资料是有益的。根据杨凤筠的资料: “产生绛县群的横岭关型矿

床,……矿体中硫化物与斜长角闪岩具有相似的硫同位素组成,其成矿物质可能与斜长角闪岩具“同源性”;“铜矿峪型铜矿床,矿体与围岩中硫具有同变化范围的硫同位素组成,具塔式效应,平均值+3.99‰,绝大多数值接近于5‰……其成矿物质与深部地壳有关”;而篦子沟型铜矿床,“围岩与矿石硫明显具重硫性,为海水硫酸盐还原而成”〔9〕。

(3)从成矿介质条件看,该铜矿床与黑色岩系有密切关系,主要矿体几乎无例外地与富含碳质的黑色片岩紧密相伴。黑色片岩含碳较高,无论在沉积或变质过程中都造成一种Eh或 fO_2 值较低的还原条件,导致 SO_4^{2-} 较完全的还原。这可能是造成篦子沟 M_2 型矿化中 δS^{34} 偏高的一个重要原因; M_3 型矿化的 δS^{34} 虽有偏低趋势,但仍继承了重硫特征,反映着在区域变质过程中矿质有进一步迁移的趋势。

总之,把篦子沟铜矿床的硫同位素组成解释为海水硫酸盐的还原作用是比较合理的。

二、问题讨论

R. L. Stanton〔10〕对新西兰火山喷气孔中黄铁矿和磁黄铁矿的硫同位素组成进行了统计(见《Ore Petrology》,181页,表7-3),指出其 δS^{34} 明显地高于零(+3‰~+7.2‰)。在我国,有人把 $\delta S^{34} = 0 \sim +10‰$ 作为海相层控矿床火山硫源的一项标志。并把这一数值运用于东川和中条山等层状(层控)铜矿床中。其主要论据是:

1. 东川铜矿床的硫化物硫的 δS^{34} 最大值为“+16.7‰”,只有这个数值“才能和海水硫酸盐沾点边”。而且,主矿体产于过渡层和落雪白云岩底部。这两部分硫的 δS^{34} 基本上都在0~+10‰之间,带有火山出身的特征”〔3〕。

2. 篦子沟型铜矿:“ δS^{34} 有较大的弥散范围,可能兼有火山硫源和海水硫酸盐的硫源。如果考虑到矿床与火山岩的密切关系和S/Se比值的特点,应以火山硫源为主”。

3. “当前,在变质岩型铜矿范畴里,利用硫同位素资料解释硫源时,存在有简单化的现象。

……把在海水形成的层状铜矿统统说成是海水硫酸盐硫源,这显然是不恰当的”。

看来,除了对硫同位素组成的一些基本概念理解不一致外,问题的焦点主要集中在两个方面。

(1)海水硫酸盐是不是海相层控铜矿床的主要硫源或重要硫源?对此,作者的论点是肯定的;

(2) $\delta S^{34} = 0 \sim +10‰$ 是不是海底火山硫源的特征数值?对此,作者的论点是否定的。

在进行讨论时,需要说明两点:

(1)根据研究资料,不同地质时代中海水硫酸盐的 δS^{34} 值是不尽相同的,随地质时代而变化。目前虽然缺乏前寒武纪海水硫酸盐硫同位素组成的可靠资料,但是,把近代海水硫酸盐的 δS^{34} 值推导为昆阳群沉积时海水硫酸盐的 δS^{34} 值,把二者等同起来,是缺乏依据的。所谓东川铜矿床中只有这个最大值($\delta S^{34} + 16.7‰$)“才能和海水硫酸盐沾点边”,并把它和近代海水硫酸盐的 δS^{34} 值(+20‰)相提并论,这在概念上是不适宜的。

(2)简单地把矿床中硫化物的 δS^{34} 值视为成矿溶液的含硫特征,而不考虑溶液中全硫(δS_{TS}^{34})的特征,也是带有片面性的。

D. F. Sangster〔11〕对国外(显生宙)110个层控矿床的硫同位素组成进行了研究,发现各个地质时代古海水硫酸盐与同时代层控矿床硫化物硫同位素间有着一种明显的平行关系。即矿床硫化物与海水硫酸盐相比,一般是 δS^{34} 减少。其中“沉积型”矿床的平均 $\Delta(\delta S^{34})$ 值为13.9‰;“火山型”矿床的平均 $\Delta(\delta S^{34})$ 值为17.4‰。两者都与15‰的细菌分馏系数平均值紧密相符 $\{ \Delta(\delta S^{34}) = (\delta S^{34}_{海水} - \delta S^{34}_{矿床平均}) \}$ 。因此,Sangster指出:“这些矿床中硫的主要来源是同期海水硫酸盐”,“而且许多矿床的硫酸盐还原为硫化物是细菌活动造成的”。Sasaki等对此持有不同意见,认为对“火山型”矿床来说,在温度为200℃以上时,也可以“因硫酸盐的非平衡化学还原作用产生Sangster(桑斯特)所指出的海水硫酸盐与火山型矿床之间平均约17‰的分

瘤作用”。很明显,他们之间的分歧主要是对海水硫酸盐还原作用的方式有不同看法,而不是对海水硫酸盐(对层控矿床)的控制作用有分歧意见。这就是说,从统计学角度上看,无论“火山型”和“沉积型”“层控矿床只构成与海水硫酸盐有关的一种类型”。

尽管对桑斯特的 $\Delta(\delta S^{34})$ 值的解释存在着不同意见,但桑氏所发现的硫同位素间这种规律性,仍然是很有价值的。我们不妨利用他的两个 $\Delta(\delta S^{34})$ 值检验一下 $\delta S^{34} = 0 \sim +10\%$ 究竟具有甚么含义。现加以粗略计算。计算前需说明两点:

(1) 假如一个矿床(或一个主要含矿层)的硫化物 δS^{34} 分布范围在 $0 \sim +10\%$ 之间,则此矿床(或主矿层)的 δS^{34} 的平均值必为正值,且介于 $0 \sim +10\%$ 之间。

(2) 假如与海相沉积(火山)建造有关的层控矿床,当其形成时,影响硫同位素组成的其他条件(温度和化学状态,即 T 、 pH 、 fO_2 等)大致相似(或可能达到相似的条件),仅海水硫酸盐的 δS^{34} 值发生变化。在这种情况下,矿床中硫化物硫的平均值将依海水硫酸盐的 δS^{34} 值的大小而作相应的变化。例如:

a. 如以老第三纪(世)的层控矿床为例,取其海水硫酸盐的值为 $+20\%$,按照桑斯特得的平均 $\Delta(\delta S^{34})$ 值加以计算,则“沉积型”与“火山型”层控矿床硫化物硫的平均值分别为 $+6.1\%$ ($20 - 13.9 = 6.1$)和 $+2.6\%$ ($20 - 17.4 = 2.6$)。即二者的硫化物硫的 δS^{34} 平均值均介于 $0 \sim +10\%$ 之间。

b. 如以二迭纪层控矿床为例,取其海水硫酸盐的 δS^{34} 值为 $+10\%$,按照同样方法计算,则“沉积型”与“火山型”矿床的硫化物硫的 δS^{34} 平均值分别为 -3.9% 和 -7.4% 。明显地低于 $0 \sim 10\%$ 的数值范围。

c. 如以寒武纪层控矿床为例,取其海水硫酸盐的 δS^{34} 值为 $+31\%$,则计算后的“沉积型”和“火山型”矿床硫化物硫的 δS^{34} 平均值分别为 $+17.1\%$ 与 $+13.6\%$ 。明显地高于 $0 \sim +10\%$ 这个数值范围。

由此可见,把层控矿床中(主要指显生宙层控矿床) $\delta S^{34} = 0 \sim +10\%$ 这个数值范围作为火山硫源的“出身特征”,既不能适用于所有层控矿床,也不能用以区别“沉积型”和“火山型”层控矿床。而且按照桑斯特等人的意见,那些“火山型”层控矿床的大部分硫也可能来自古海水硫酸盐,或者说是“在海洋硫占压倒优势的海底热液系统中形成的”。

Ohmoto 总结出了一个在热液条件下影响固体硫化物硫同位素组成的函数公式:

$$\delta S^{34} = f(\delta S_{ES}^{34}, T, pH, fO_2, I)$$

并利用这一理论对日本黑矿的硫同位素进行了研究。指出:“在黑矿矿石的沉积条件下,只有 $+20\%$ 左右的硫(即海水硫)可能产生观测到的硫化物的 δS^{34} 值”。由此看来,海水硫酸盐对海相层控矿床硫同位素组成的控制作用可能是一种基本事实。

总之,把 $\delta S^{34} 0 \sim +10\%$ 作为海底火山硫源的特征数值,无论从理论上或实践上都缺乏足够的依据。换句话说,它可能不具有普遍意义。

本文主要以我国两个前寒武纪层控铜矿床为例,讨论了这种铜矿床的硫源问题,未讨论铜质的来源,这是需要说明的。

主要参考文献

- [1] 王可南, 1978, 地球化学, 第3期
- [2] 王可南, 1979, 地质与勘探, 第2期
- [3] 施林道, 1980, 地质与勘探, 第6期
- [4] 陈民扬等, 1977, 东川铜矿床的硫同位素组成及矿床成因类型
- [5] 华北地质研究所铜组, 1977, 华北地质科技情报, 第1期
- [6] 山西省地质局214地质队, 1980, 论山西省中条山篦子沟型层控铜矿床的成矿条件(第二届全国矿床会议论文)
- [7] W. Mercer, 1976, 层控矿床和层状矿床, 第二卷, 地质出版社, 第一版
- [8] D. J. Vaughan, 1976, 层控矿床和层状矿床, 第二卷, 地质出版社, 第一版
- [9] 杨凤筠, 1980, 中条山铜矿床同位素地质与矿床成因, 第二届全国矿床会议论文摘要汇编
- [10] R. L. Stanton, 1972, Ore Petrology
- [11] D. F. Sangster, 1976, 层控矿床和层状矿床, 第二卷, 地质出版社