

层控矿床成因类型的单矿物微量元素判别图解

——以湖南泥盆系层控矿床为例^①

匡耀求

(湖南省地质研究所·长沙)

通过对层控矿床单矿物微量元素含量和分布特征所反映的成因信息的研究,提出了一系列的单矿物微量元素判别图解,它可有效地区分层控矿床的成因类型。

关键词:微量元素地球化学;矿液成熟度;元素分配系数;成因分类

湖南省泥盆系层控矿床产地多、类型全,前人对其做了大量的研究,积累了很多资料。笔者在执行“湘中湘南泥盆系有色及贵金属控矿条件及远景预测研究”课题过程中,对大量的单矿物微量元素地球化学资料进行了系统的分析和总结,提出了一系列矿床成因类型的判别图解。

泥盆系层控矿床的分类

根据湖南泥盆系层控矿床的产出地质条件及控矿因素,将其分成3类:

1. 沉积—改造型矿床(简称改造型)

指沉积成岩期已基本形成或强或弱的矿化层(矿源层),再经后期(成岩后)改造(构造作用、地下水作用等)而富集形成的矿床。在湖南这类矿床主要为单一的黄铁矿矿床,典型实例有:城步铺头、冷水江洪水坪、安化青山冲、江华洪水冲、郴县金狮岭等大、中型黄铁矿矿床。

2. 远源—渗滤型矿床(简称渗滤型)

指成岩后由地下循环的热水或热卤水溶液,从下伏或周围矿源层(岩)中,淋滤活化出成矿物质,通过断裂或其它通道,迁移较

大距离,到达容矿层,再沉淀下来所形成的矿床。在容矿层顶板或底板等有利条件下,可形成较大规模的矿床。主要矿种有:锑、金、锌(铅)等。典型实例有锡矿山锑矿;高家坳金矿,禾青、白云铺、周山、后江桥等铅锌黄铁矿矿床。

3. 岩浆热液叠加型矿床(简称叠加型)

指沉积成岩阶段容矿层中聚积了或多或少的成矿物质,成岩后,由于岩浆侵入,由岩浆热液带来大量的成矿物质叠加其上,使其富集而成的矿床,成矿物质主要来自岩浆热液。

矿床空间上与岩体关系密切,围岩蚀变强烈,矿石组份复杂,常形成多金属矿床。主要矿种有:钨、锡、铅、锌、铜、银和金等。典型产地有:东坡矿田、香花岭矿田、瑶岗仙矿田、铜山岭矿田等。

单矿物微量元素特征的成因意义

1. 影响矿物中微量元素含量的因素

由能斯特分配定律可知:矿物中微量元素含量取决于成矿溶液中元素的浓度和它在该矿物相中的分配系数。为了解译出单矿物

^①本文是“湘中湘南泥盆系有色、贵金属控矿条件及远景预测研究”的部分内容,参加工作的还有王甫仁、李玉平等。

本文1991年11月收到,1992年3月改回。

微量元素特征所包含的成因信息,我们分析了成矿体系中微量元素浓度的影响因素及元素分配系数的影响因素。

(1) 影响成矿体系中微量元素浓度的因素

①成矿流体的性质、来源及演化对流体中微量元素浓度的影响。这里,我们首先引入矿液成熟度的概念。在沉积学中,成熟度是衡量沉积物化学稳定性的一个指标,我们用矿液成熟度作为反映矿液活化迁移成矿物质能力的一个综合指标。它是由成矿流体的性质、来源和演化多因素综合决定的。较高温的岩浆热液,尽管有较强的溶解成矿物质的能力,液迁移范围局限于岩体附近,其迁移能力受岩浆侵入产生的温度场限制,因此其成熟度并不高;海水和地表水尽管有很强的迁移能力,但其溶解成矿物质的能力有限,成熟度更低;而在地下经过长时间、远距离循环的渗滤流体(如热卤水等),即使在较低温度下也具有很强的活化迁移成矿物质的能力,其成熟度较高。所谓渗滤型矿床就是在具有较高成熟度的矿液作用下形成的,其矿源距成矿部位可以很远。

前述的3类矿床分别由3类不同来源和性质(即具有不同成熟度)的成矿流体形成,

即:

海水及成岩压实水和部分地下水;
长期在各类地质体中渗流循环的地下水;

岩浆作用产生的各种热液。

由于海水是一个开放的体系,而且水温很低,微量元素的浓度很低,只有在局限环境或某种特定的地球化学障里才可能出现某些微量元素的浓度异常,但也不会有很高的浓度。

由晶体化学可知:在岩浆作用过程中,Ga、Ge、Ni等元素会优先进入早期结品的造岩矿物中而分散在各类岩浆岩中,而In、Co、Cu、Ag、Te等元素则不易进入结晶硅酸盐矿物晶格,会随着岩浆的演化而富集在晚期岩浆热液中。

具有较高成熟度的渗滤型流体,具有很强的活化迁移成矿物质的能力,加上流经地壳岩石中的Ga、Ge、Ni等元素的丰度相对较高,以及As、Sb、Se、Au等元素本身的地球化学性质,使得它们在渗滤流体中能够不断富集,因此这些元素在渗滤流体中有较高的浓度。

岩浆期后热液及渗滤流体的微量元素特征及演化特点归纳于表1。

表1 两类主要成矿流体微量元素特点

流体类型	静态特征	动态(演化)特征
与花岗质岩浆作用有关的岩浆热液	Ga、Ge、Ni、Se、Sb、Au浓度较低, In、Co、Te、Bi、Ag浓度较高, Ga/In<1、Co/Ni>1、Au/Ag<70×10 ⁻³ 、Ag/Sb较大	从岩浆热液作用早期至晚期, Bi、In含量不断降低, Ag含量不断增大, Bi/Sb、Au/Ag不断降低, Ag/Sb不断增大
壳源渗滤流体	Ga、Ge、Ni、Se、Sb、Au浓度较高, In、Ag、Bi、Te浓度较低, Ga/In>>1、Co/Ni<1、Au/Ag>12×10 ⁻³ 、Ag/Sb比值较小	随着渗滤流体的不断演化, 成熟度不断增大, Ga、Ge、Co、Ni、Se、Sb、Au等元素不断富集, Co/Ni比值降低, Au/Ag比值不断增大

②物理化学条件对流体中微量元素浓度的影响。元素及其离子在溶液中的稳定性与元素的存在形式密切相关,氧化还原电位、介质酸碱性等是影响元素在溶液中存在形式的重要因素,而温度则直接影响元素及其化

合物在溶液中的溶解度。但对于一定的流体类型来说,上述物理化学条件是稳定在一定范围内的,它们对流体中微量元素浓度的影响可和流全类型一并考虑。

因此,影响成矿流体中微量元素浓度的

决定性因素是成矿流体的类型；这与其来源和演化有关，也即取决于矿液的成熟度。物理化学条件的影响是从属于流体类型的。

(2) 影响微量元素在矿物中分配系数的因素

微量元素在矿物中的分配系数主要受：元素本身的地球化学性质、矿物的晶体化学性质、成矿流体的成分和物理化学条件(T、P、 f_{O_2} 等)等因素影响。其中前二者系结构因素，受晶体化学规律制约，用类质同象法则和晶体场理论可以定性阐明；后者属热力学因素，如温度和压力对分配系数的影响可用下式表达：

$$\ln K_D = \frac{-\Delta G_{i,T}^0}{RT} - \left[\int_1^P \Delta V^0 dp \right] / RT - \frac{\Delta H^0}{RT} + \frac{\Delta S^0}{R} - \left[\int_1^P \Delta V^0 dp \right] / RT \quad (1)$$

当温度不变时，分配系数取决于压力，而压力的影响则与微量元素进入矿物导致矿物体积的改变有关。若体积增大，则压力增大会使分配系数减少；若体积减少，则压力增大会使分配系数增大。一般大半径的离子进入矿物会使矿物晶胞体积增大，如 In^{3+} 进入锡石会使锡石晶胞体积增大，因此，高压下不利于 In^{3+} 置换 Sn^{4+} ，压力增大会使 In 在锡石中的分配系数降低，这就是锡石 In 含量地质压力计的理论基础。相反，小半径离子的置换则会使矿物晶胞体积减少，如 Nb^{5+} 、 Ta^{5+} 进入锡石会使锡石晶胞体积减少，所以高压下有利于 Nb^{5+} 、 Ta^{5+} 置换 Sn^{4+} ，即压力增大会使 Nb 、 Ta 在锡石中的分配系数增大。

若压力不变时，分配系数则取决于温度：由式(1)知： $\Delta S^0/R$ 项为常数，大于零，因此，对于 $\Delta H^0 > 0$ 的过程来说，分配系数将随温度的升高而增大，如 Pb 置换 Ba 进入重晶石时， $\Delta H^0 > 0$ ，因此，随温度的升高， Pb 在重量晶石中的分配系数增

大；而对于 $\Delta H^0 < 0$ 的过程来说，分配系数将随温度的升高而减少，如 Sr 置换 Ba 进入重晶石时， $\Delta H^0 < 0$ ，所以随温度升高， Sr 在重晶石中的分配系数减少^[3]。

对于具体的某一元素在某矿物中的分配系数来说，其影响因素主要是温度和压力。

上面讨论了影响矿物中微量元素含量的诸多因素，根据这些原理，我们就可探讨单矿物微量元素特征的成因意义。

2. 层控矿床中常见矿物的微量元素特征反映的成因信息

湖南泥盆系中的3类层控矿床中，最常见的金属矿物是黄铁矿、闪锌矿和方铅矿。

(1) 黄铁矿：黄铁矿中的微量元素有两类：一类以固溶体(类质同象)方式存在，如 Co 、 Ni 、 Se 、 As 等，另一类为机械混入物，如 Cu 、 Pb 、 Zn 、 Au 、 Ag 等。呈机械混入物状态存在的元素可以直接反映成矿流体的特征，其集散规律主要受表面吸附作用等因素控制，不会出现很大程度的富集或贫化；而呈类质同象方式存在的元素将按晶体化学规律出现不同程度的富集或贫化，如 Co 、 Ni 、 Se 、 As 等有所富集，而且会优先富集于早阶段结晶的黄铁矿中。由于 Co 的分配系数大于 Ni 的分配系数，因此， Co 较之 Ni 更容易富集于先结晶的黄铁矿中，而 Ni 则富集于相对较晚结晶的黄铁矿中。

由表1可知：由花岗质岩浆作用产生的热液富 Co 、 Ag 、 Te ，贫 Ni 、 Au 、 Se 等， $Co/Ni > 1$ ， $Au/Ag < 70 \times 10^{-3}$ ；而渗滤型流体中则相对富 Ni 、 Se 、 Au 等而贫 Ag ， $Co/Ni < 1$ ， $Au/Ag > 12 \times 10^{-3}$ 。因此，与岩浆作用有关的叠加型矿床中的黄铁矿将出现 $Co/Ni > 1$ ， $Au/Ag < 70 \times 10^{-3}$ ；渗滤型矿床的黄铁矿则出现 $Co/Ni > 1$ ， $Au/Ag > 12 \times 10^{-3}$ ；而沉积型黄铁矿由于海水中 Co 、 Ni 含量低，因而矿物中 Co 、 Ni 含量也低，局部因素可能会影响沉积型黄铁矿中 Co 、 Ni 含量，但

Co+Ni 总量一般少于 100×10^{-6} 。通常海水中 $\text{Co}/\text{Ni}=0.2\sim 1$ ，由于 Co 的分配系数大于 Ni 的分配系数，所以沉积黄铁矿会出现 $\text{Co}/\text{Ni}>1$ 的情况。另外，沉积黄铁矿中呈机械混入物状态存在的微量元素(如 Cu、Pb、Zn、Au、Ag 等)含量很低。沉积黄铁矿中成岩水和地下水改造过程中会出现微量元素的再分配，但由于参与改造作用的成岩水和地下水成熟度很低，所含微量元素浓度极低，不会使沉积改造型黄铁矿的微量元素特征出现很大的改变。

此外，由于温度对成矿流体中硫的存在形式有不可忽略的影响：较高温下，硫倾向于进入气相，而使液相中相对贫硫，如岩浆作用过程处于温度下，岩浆热液中的硫倾向于在挥发相中富集，而使得液相中较贫硫，因此，许多岩浆热液矿床中一般不形成黄铁矿，而以出现大量的磁黄铁矿为特征。较高温热液中形成的黄铁矿也往往亏硫。而在较低温下，硫能较稳定地存在于液相中，因此较低温上形成的硫化物矿床中，铁的硫化物为黄铁矿，而且黄铁矿中的硫一般会满足其化学配比(即 $\text{S}:\text{Fe}=2:1$ ，指原子数)或者略富硫。刘平(1987)对浙江八宝山金银矿床的研究表明：爆裂温度大于 250°C 的黄铁矿 $\text{Fe}:\text{S}$ 原子比为 $1:1.975\sim 1:1.983$ ，且有温度越高亏硫越多的趋势；爆裂温度小于 250°C 的黄铁矿则略富硫， $\text{Fe}:\text{S}$ 原子比为 $1:2.026\sim 1:2.158$ ，而且随着远离矿化中心和矿化阶段从早到晚，黄铁矿的硫含量增多，因此，黄铁矿的 S/Fe (原子比)是成矿温度的反映。

对于 Co、Ni 等以类质同象形式进入黄铁矿的微量元素来说，其分配系数会随温度的升高而增大。对于同一成矿体系来说，流体中 Co、Ni 浓度是一定的，这时黄铁矿中 Co、Ni 含量的变化由其分配系数决定，因此，同一成矿体系中 Co、Ni 含量的变化是成矿温度的反映。当然，Co、Ni 含量的大

幅度变化是由成矿流体类型决定的。

(2)闪锌矿：闪锌矿中的微量元素也同样有两类，其中呈类质同象形式存在的 Ga、Ge、In 等集散规律较明显。Ga、In 均以三价形式置换 Zn^{2+} ， Ga^{3+} 与 Zn^{2+} 的离子半径差

$$\left(\frac{R_{\text{Zn}^{2+}} - R_{\text{Ga}^{3+}}}{R_{\text{Ga}^{3+}}}\right) = \frac{0.83 - 0.67}{0.67}$$

= 24%) 较之 In^{3+} 与 Zn^{2+} 的离子半径差

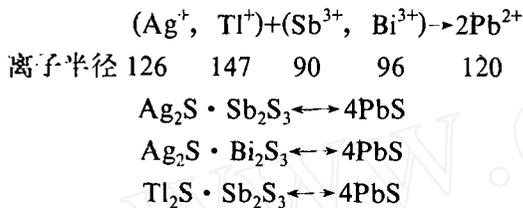
$$\left(\frac{R_{\text{In}^{3+}} - R_{\text{Zn}^{2+}}}{R_{\text{Zn}^{2+}}}\right) = 11\%$$

要大得多，因此， Ga^{3+} 置换 Zn^{2+} 的能力远不如 In^{3+} ，即 In 在闪锌矿中的分配系数大于 Ga，因此，In 将优先富集在早阶段结晶的闪锌矿中，而 Ga 则相对富集在晚阶段结晶的闪锌矿中；而且由于 In 的分配系数大于 Ga 的，因此闪锌矿的 Ga/In 值就会小于成矿溶液的 Ga/In 值。由表 1 知，岩浆热液中， $\text{Ga}/\text{In}<1$ ；渗滤流体中 $\text{Ga}/\text{In}\gg 1$ ，相当于其地壳丰度比 $\text{Ga}/\text{In}=15/0.25=60$ 度左右。因此，与岩浆热液作用有关的叠加型闪锌矿，其 $\text{Ga}/\text{In}\ll 1$ ，而渗滤型闪锌矿 $\text{Ga}/\text{In}\gg 1$ 。这两类矿床的闪锌矿均会出现从早到晚 Ga/In 值逐渐增大的趋势。叠加型矿床闪锌矿 Ga/In 值从早阶段到晚阶段一般由 $\ll 1 \sim < 1$ (约为 $0.0001\sim 0.5$)，渗滤型则由 ≈ 1 到 $\gg 1$ (约为 $0.8\sim 1000$)。从 Ga、In 含量的绝对值看，一般情况下，叠加型矿床闪锌矿： $\text{In}>5 \times 10^{-6}$ ， $\text{Ge}<5 \times 10^{-6}$ ， $\text{Ga}<10 \times 10^{-6}$ ，渗滤型矿床闪锌矿 $\text{Ga}>5 \times 10^{-6}$ ， $\text{Ge}<5 \times 10^{-6}$ ， $\text{Ga}<10 \times 10^{-6}$ 。

此外，常量元素 Fe 以 FeS 形式与 ZnS 在闪锌矿中形成固溶体，固溶体的程度随温度升高而增大。但是 Barton 和 Toulmin (1966) 的实验表明： 580°C 以上，闪锌矿中 FeS 分子百分数只是 a_{FeS} 的函数，与温度、压力无关；Scott 和 Barnes(1977)的实验表明：与黄铁矿和六方磁黄铁矿平衡的闪锌矿，在温度为 $304\sim 555^\circ\text{C}$ 之间， FeS

百分数是压力的函数，与温度无关(试验压力为 250~1000bar)；Craig 和 Scott(1974) 的研究还表明：闪锌矿中 Cd、Mn 固溶体对闪锌矿中 FeS 含量与压力的函数关系没有可检测的影响，但 Cu 含量较大时可影响等压线。只有中 300 ° C 以下，闪锌矿的 Fe 含量随温度升高而增大，随压力升高而减少。

(3)方铅矿：方铅矿中 Ag、Tl、Sb、Bi 以下列形式形成固溶体：



Ag₂S 在方铅矿中的最大溶解度约为 0.4mol%。按照类质同象法则，由于 Bi³⁺、Ag⁺离子半径较接近 Pb²⁺，因此 Bi、Ag 较易于置换 Pb 而进入早阶段的方铅矿中；Tl⁺、Sb²⁺由于与 Pb²⁺半径相差较大而相对较难于发生置换。另外，由于 Bi、Sb 电荷高、半径小会优先进入方铅矿而富集在早阶段方铅矿中，Ag、Tl 由于半径大、电价低而只能被“容许”有晚阶段矿物中。因此，这些元素在方铅矿中分配系数大小顺序是：Bi>Ag>Sb>Tl，由早到晚它们在方铅矿中富集的顺序是：Bi、Ag、Sb、Tl。由于 Bi 只富集在最早结晶的少量方铅矿中，所以 Bi 含量高的方铅矿是岩浆作用早期的产物。Tl 也只富集在最晚结晶的少量方铅矿中，因此方铅矿中最常见的微量元素就是 Ag 和 Sb。由于 Ag、Sb 分别是岩浆热液和渗滤流体中的特征元素，因此，方铅矿的 Ag/Sb 值是一个很有意义的成因判别指标。岩浆热液的 Ag/Sb 值一般较高，因此叠加型方铅矿 Ag/Sb 一般大于 1；渗滤型流体 Ag/Sb<1，渗滤型方铅矿的 Ag/Sb 值也小于 1(一般 0.01~1)。

此外，方铅矿中的 Ag、Sb、Bi 含量还

与温度有关。温度不仅影响其类质同象置换能力，而且还影响到这些元素在成矿溶液中的稳定性：较高温下 Bi 能稳定地存在于成矿流体的液相中，Sb 则由于其挥发性会富集在气相中，使得液相中结晶的方铅矿含 Bi 较高而含 Sb 较低；相反，在较低温的成矿溶液中，Sb 能稳定存在，而 Bi 则因其溶解度低，络合物稳定性差而不能存在于液相中，使得液相中结晶的方铅矿含 Sb 高而含 Bi 较低。因此，Ag 和 Bi/Sb 值可反映成矿温度。

层控矿床成因类型判别图解

从上述分析可知，黄铁矿中 Co、Ni、Se 等微量元素的含量主要与成矿溶液的成熟度有关，而 Co/Ni、Se/Te 值则主要由成矿流体的类型(来源)所决定，因此，用 Co+Ni—Co/Ni 作图可以区分不同成因类型的黄铁矿。图 1 是湖南省泥盆系层控矿床中黄铁矿的 Co+Ni—Co/Ni 图解；从图上可看出，湖南泥盆系中的 3 类控矿床的投点分别位于不同的区域。图 2 是黄铁矿的 Co+Ni—S/Fe(原子比)判别图解，图中上述 3 类矿床的区别也十分明显。图 3 是黄铁矿的 Se—S/Fe(原子比)判别图解，不仅可区分不同成因类型的黄铁矿，而且还可区分不同矿种的矿床，由图可知：随成矿溶液成熟度的不同，形成矿产的种类也不同：从单一黄铁矿→黄铁铅锌矿→金银多金属矿→单一金、银矿，其成矿流体的成熟度是逐渐增大的。由此可知，形成金、银矿床的条件是成矿流体必须具有很高的成熟度。

从前面的分析中可知，闪锌矿的 Ga/In 值主要由成矿流体的类型决定，随矿液成熟度增大而增大；闪锌矿的 Fe 含量在 300 ° C 以下主要与成矿温度有关，随温度升高而增大。在湖南泥盆系的层控矿床中，闪锌矿主要见于渗滤型和叠加型两类矿床中，用闪锌矿的 Fe 含量和 Ga/In 值作

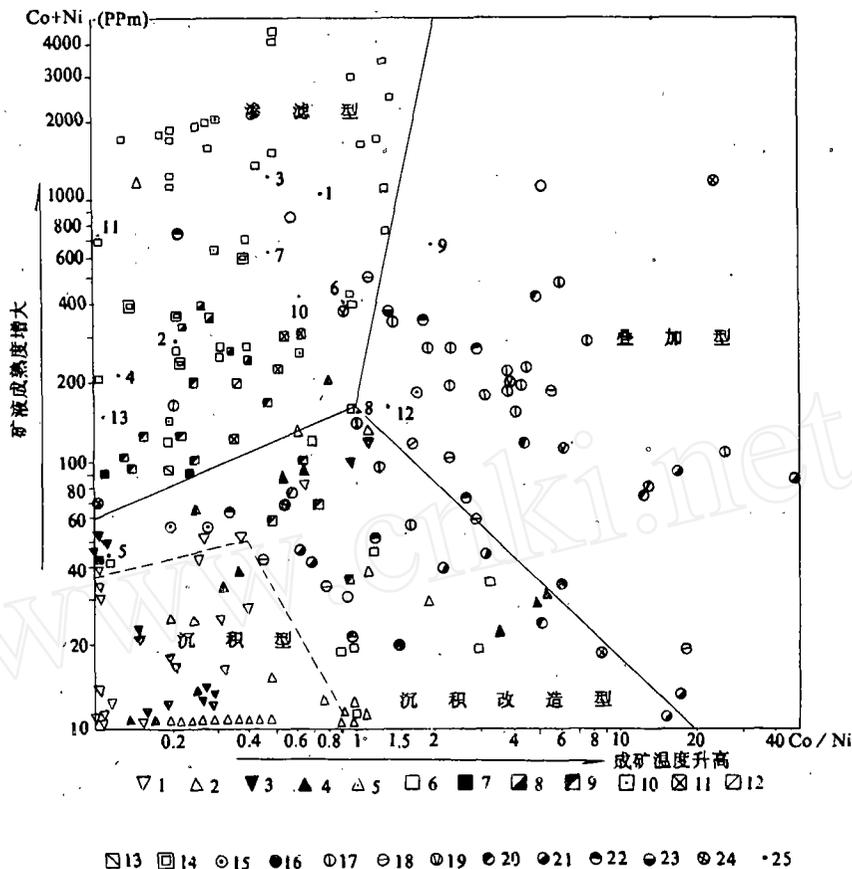


图1 湖南泥盆系各类矿床的 Co+Ni—Co/Ni 判别图解

- 沉积改造型: 1—江华洪水冲黄铁矿矿床; 2—冷水江洪水坪黄铁矿矿床; 3—城步铺头黄铁矿矿床; 4—郴县金狮岭黄铁矿矿床; 5—安化青山冲黄铁矿矿床
- 渗滤型: 6—耒青、白云铺、周山、岩口铅锌矿床; 7—后江桥、太平墟、田尾、黄家坝铅锌矿床; 8—高家坳、大源、斗山、苏家湾金矿床(点); 9—锡矿山锌矿田; 10—牛山铺锌矿; 11—梨树坳钨锡矿; 12—湘中脉状锡矿; 13—湘中似层状锡矿; 14—甘肃向阳山、李家沟、邓家山、毕家山铅锌矿
- 叠加型: 15—东坡山铅锌矿; 16—蛇形坪铅锌矿; 17—横山岭、金船塘铅锌矿; 18—野鸡尾铅锌矿; 19—瑶岗仙、谷垅钨银多金属矿; 20—泡金山铅锌矿; 21—新风、太平、茶山、深坑里铅锌矿; 22—铜山岭铜铅锌银多金属矿; 23—景福岩铅锌银矿点; 24—清江铅锌矿; 25—成因不明黄铁矿样品点

图,发现这二类矿床有明显的区别,在对数坐标图上,直线 $\lg Fe = 0.8(\lg Ga - \lg In)$ 是两类矿床的界线,即 $\lg Fe > 0.8(\lg Ga - \lg In)$ 为叠加型, $\lg Fe < 0.8(\lg Ga - \lg In)$ 为渗滤型。

闪锌矿的 Ga/In 值在大多情况下可以区分两类层控矿床,但有一部分重叠,而且当 $Ga/In \approx 1$ 时,无法判别,这时,用 $Fe - Ga/In$ 图解却可以较好地解决这一问

题。

从前述分析中我们可知:方铅矿的 Ag/Sb 值与成矿流体类型有关, Ag 含量与成矿温度有关。因此,用 $Ag - Ag/Sb$ 作图,并求得两类矿床分界线的曲线方程为: $Ag = 10\sqrt{Sb}$ 。 $Ag > 10\sqrt{Sb}$ 为叠加型, $Ag < 10\sqrt{Sb}$ 为渗滤型。

作者曾用上述判别图解和标志,判别湘

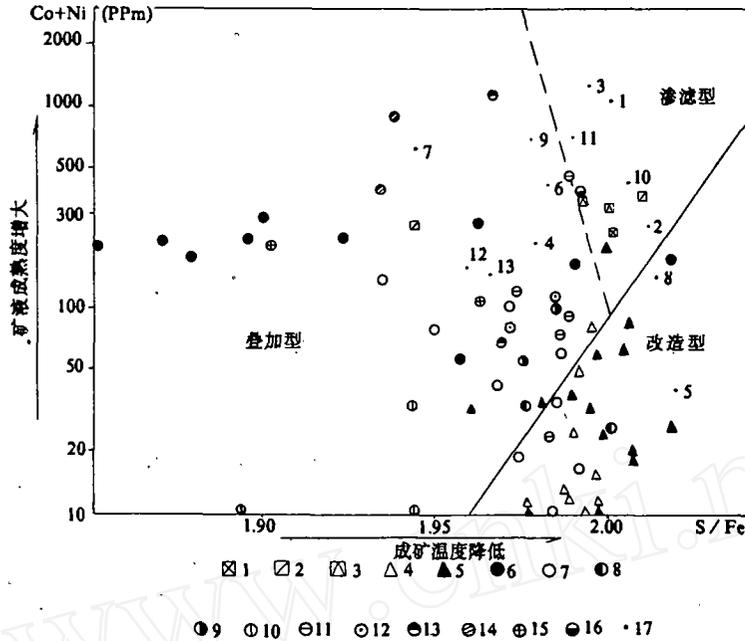


图2 各类黄铁矿的(Co+Ni)—S/Fe(原子比)判别图解

渗滤型: 1—高家坳金矿; 2—大沅、斗山金矿; 3—苏家湾金矿点
 改造型: 4—洪水冲黄铁矿; 5—金狮岭黄铁矿
 叠加型: 6—横山岭铅锌矿; 7—野鸡尾铅锌矿; 8—蛇形坪铅锌矿; 9—东坡山铅锌矿; 10—茶山、三合墟铅锌矿; 11—泡金山铅锌矿; 12—深坑里铅锌矿; 13—清江铅锌矿; 14—瑶岗仙钨银矿; 15—谷垅预测区; 16—景福岩Pb-Zn-Ag-Au矿点; 17—成因不明黄铁矿样品点

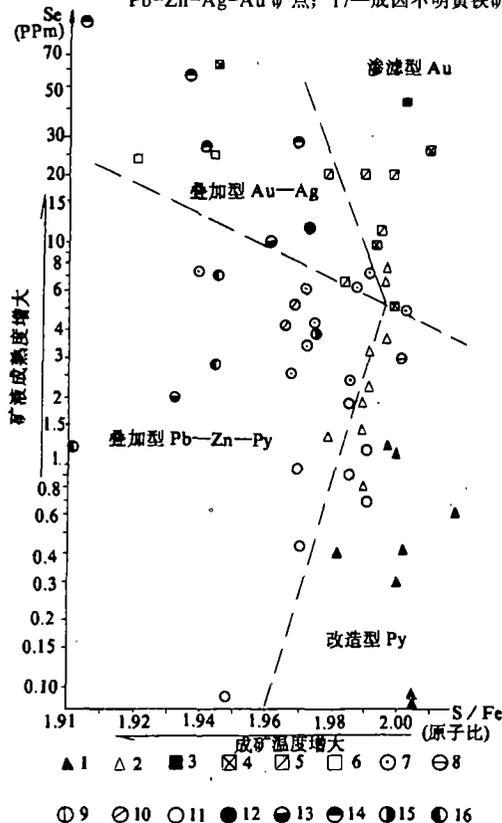


图3 不同矿种矿床中黄铁矿 Se—S/Fe 图解

1—金狮岭黄铁矿; 2—洪水冲黄铁矿; 3—高家坳金矿;
 4—大沅、斗山、苏家湾金矿; 5—金银冲金矿; 6—铲子坪金矿;
 7—野鸡尾铅锌矿; 8—蛇形坪铅锌矿; 9—横山岭铅锌矿;
 10—清江铅锌矿; 11—深坑里铅锌矿; 12—水口山铅锌金银矿;
 13—谷垅预测区; 14—瑶岗仙钨银矿; 15—东坡山铅锌矿;
 16—茶山、三合墟铅锌矿

南地区, 12个未知矿化地区地质体中黄铁矿的成因类型, 后经硫同位素分析资料和区域对比验证, 效果很好。同时, 还利用上述图解(图1、图3)预测瑶岗仙钨矿外围地区存在金、银矿化, 并已得到验证。