

作为地球化学指示标志的硫化矿物

许多硫化矿物可以作为地球化学指示标志加以利用。这些标志是评价外部参数(温度和压力)和内部参数的准则。内部参数是由给定的温度与压力下成矿介质的成分,即热液的pH和Eh,存在于热液中的硫化-氧化平衡,以及由此和由Eh而引伸出来的表征所产生的共生组合硫化水准的pS值所决定的。

矿物的许多标志和性质可以当作地球化学指示标志来利用,其中包括:

1. 反映矿物所在介质成分的矿物本身的

除用交变磁场进行退磁检验外,还可以用直流恒定磁场退磁。两种方法都是用一个多层螺线管(长度是样品的3~4倍),使其轴垂直于磁子午面安放。用两对互相垂直的赫姆霍兹线圈(一对水平安放,一对垂直安放)分别通以适当大小的直流电使所生的磁场恰好补偿掉地磁场的垂直和水平分量,在线圈中央区域成为磁场为零的空间,螺线管就放在这一位置。使被检验的样品的各个剩磁方向或是总剩磁方向顺螺线管的轴向安放在螺线管中心(在使用直流磁场时,还必须使螺线管内的磁场方向与样品的剩磁方向相反)。逐步增大电流到预定数值,然后在逐步减小到零。按这样的标准来判断剩磁的稳定性。在交变的300奥磁场中,天然剩磁减小了50%(原来的一半),则认为剩磁是稳定的,如果在20奥的磁场中就减小了50%,就是不稳定的。图13(1)中,曲线a,b,c所表示的样品其剩磁是稳定的,曲线d所表示的样品剩磁是不稳定的。在用直流恒定磁场退磁,如所用退磁场>30奥以上剩磁才消失,则其剩磁是稳定的;如不到10奥剩磁就消失,

化学组成。

2. 矿物的形态成因特征:与生成温度、压力(生成深度),介质的pH值、硫化物和氢硫化物阴离子的浓度和溶液过饱和程度有关的晶形;表征晶体生长条件的晶面上的晶纹。

3. 转化点为已知的多型转化和多型,该转化点代表与压力有关的一定温度。

4. 典型的类质同象杂质(包括微量杂质),这些杂质可以把某一矿物与取自另一矿床的同一矿物区别开。

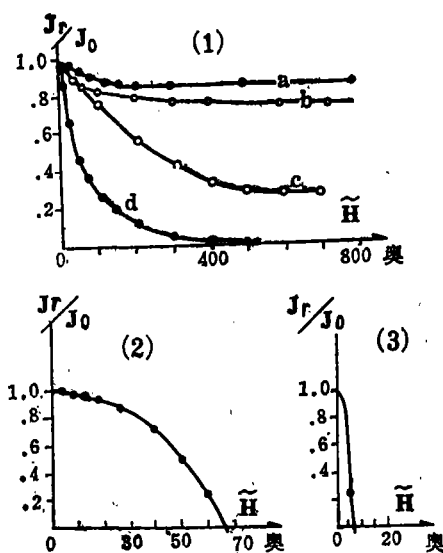


图 13

表明剩磁是不稳定的(图13(2)和(3))。若用加热法退磁,加热到100℃后剩磁减弱低于原来的50%,标本的剩磁是稳定的,如加热到500℃之后剩磁强度减小到低于原来的25%,则其剩磁是不稳定的。(未完待续)

(陈玲编写)

5. 镜下在光片中所见到的一些特征, 如乳浊包裹体、固溶液分解构造、有规律的连生或一个矿物被其他矿物交代。

尽可能地利用上述全部矿物标志, 有助于揭示和澄清矿物的生成条件, 并为直观的认识提供物理化学上的依据。

矿物的化学成分

研究矿物的相互共生关系(尤其是矿物的禁止伴生关系)和进行不完全的反应表明, 有大量的矿物, 其化学成分代表了介质的成分, 它们与参与化学反应的其他一些矿物不能共存。现举例如下。

方铅矿 PbS 有方铅矿存在时, 高价的硫化物 As_2S_3 (雌黄)、 Sb_2S_3 (辉锑矿)、 Bi_2S_3 (辉铋矿) 不稳定, 因为 PbS 与上述矿物形成许多硫盐: $PbS + Sb_2S_3 \rightarrow PbSb_2S_4$ (辉锑铅矿) 或 $PbS + As_2S_3 \rightarrow PbAs_2S_4$ (脆硫砷铅矿)。在有方铅矿存在时, 铜、镍等砷化物也不稳定, 因为方铅矿在从砷化物中夺去硫的同时, 把自己的硫给了这些金属, 并转变为砷铅矿 $PbTe$ 和韦砷铜矿 $Cu_2Te + PbS \rightarrow PbTe + Cu_2S$ 。与斜方硒铅矿可发生反应: $FeSe_2 + 2PbS \rightarrow 2PbSe + FeS_2$ 。

在方铅矿占优势时, 象辉铋矿 Bi_2S_3 和辉银矿 Ag_2S 这样的矿物不具备自己的矿物形式, 因为它们在很大程度上能够在方铅矿中生成固溶液, 有时是分别存在 (Ag_2S 或 Bi_2S_3), 有时则由于与高温变体 $AgBiS_2$ (针铅铋银矿) 发生类质同象而同时存在。

辉铜矿 Cu_2S 见于低温生成的石英脉中, 同时由于有铁的硫化物存在时它转变为黄铜矿, 而当有少量硫化铁存在时又转变为内生斑铜矿 Cu_5FeS_4 , 所以原生辉铜矿极少。辉铜矿与高价硫化物 As_2S_3 、 As_2S_5 、 Sb_2S_3 、 Bi_2S_3 、 $-GeS_2$ 等, 可形成相应的硫盐: 砷黝铜矿、斜方硫砷铜矿、硫铜铋矿 (或黝铜矿)、硫铜铋矿 $CuBiS_2$ 或硫铋铜矿 Cu_3BiS_3 、锗石。有辉银矿存在时, 辉铜

矿也不稳定, 形成一系列化合物, 如硫铜银矿 $AgCuS$ 和 Ag_3CuS_2 等。同时, 辉铜矿在硫化矿床胶结带中相当常见, 但其生成条件与热液成矿有很大差别。

针硫镍矿 NiS 硫不饱和时生成针硫镍矿, 反之生成 NiS_2 (方辉镍矿)。铁的硫化物存在时, 在颇大的温度、压力区间内生成镍黄铁矿 ($(Ni, Fe)_9S_8$ 或含镍磁黄铁矿或黄铁矿 (辉铁镍矿 (Fe, Ni) S_2))。针硫镍矿能与砷起剧烈反应, 或者在给出硫的同时转变为红镍矿 $NiAs$; 或者在较高的硫化条件下直接结合砷生成辉砷镍矿 $NiAsS$; 或者在砷大量饱和的条件下生成砷镍矿 $NiAs_2$ 。针硫镍矿与铋化物阴离子反应, 把阴离子居为已有生成铋硫镍矿 $NiSbS$, 而在较低的硫化条件下则生成红铋镍矿 $NiSb$ 。因此, 针硫镍矿的存在, 直接就表明没有该矿物能与之起反应的大量元素和化合物存在; 另方面还说明硫化物的浓度相当大, 否则镍就将以类质同象杂质的形式进入地幔的硅酸盐化合物。

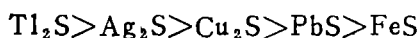
辉铋矿 Bi_2S_3 常见于钨矿床中, 甚至在铋浓度低的情况下, 它也能很好地独立出来, 而且黄铁矿、磁黄铁矿或毒砂的存在也不妨碍它的生成。

当有大量铅的硫化物存在时, 铋的硫化物在其中类质同象溶解, 同时生成所谓异常的混合晶体; 在 Bi/Pb 比值更高时, 生成辉铋铅矿 $PbBi_2S_4$ 型铅的铋硫盐, 或者 $PbS : Bi_2S_3$ 是另一比例, 但存在 Cu_2S , 则生成针硫铋铅矿 $CuPbBiS_3$ —软硫铋铅铜矿 $CuPbBi_3S_6$ 系列的硫化物; 只有在含铋最丰富的硫盐的共生组合中, 辉铋矿可能均衡地共存。在有少量溶液渗入“冷的”方铅矿矿床时, 有可能产生辉铋矿的不均衡组合; 这种溶液含有硫化铋, 并具有 Bi_2S_3 能从溶液中析出的极低温度。 Bi_2S_3 与辉铜矿可形成硫铜铋矿 $CuBiS_2$ 或硫铋铜矿 Cu_3BiS_3 , 而与辉银矿则生成硫银铋矿 $AgBiS_2$ 。 Bi_2S_3 存在

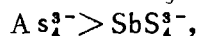
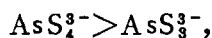
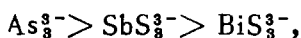
时, Cu (韦梯铜矿、碲铜矿等), Pb (碲铅矿)、Ni (碲镍矿) 的碲化物不稳定, 因为此时铋从中夺取碲, 形成辉碲铋矿 $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ 并把这些矿物转变为硫化物: $2\text{PbTe} + \text{Bi}_2\text{S}_2 \rightarrow 2\text{PbS} + \text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ 。

在岩石学中, “酸性” 岩这一术语曾经被 “硅酸度” 的概念所取代, 因为一系列碱性岩可以用很高的硅酸度来表征。与此类似的是, 在硫化矿物系统中, 根据 B. И. 维尔纳德斯基的术语, 可以提出 Cu_2S 、 Ag_2S 、 PbS 、 FeS 等的 “磺基” 和 Ag_2S_5 、 Sb_2S_5 、 SnS_2 、 GeS_2 、 As_2S_3 、 Sb_2S_3 的 “磺酸”。二者之间的量比关系决定着所形成磺盐的 “基性” (或 “酸性”) 的大小, 也决定着在磺基组中由于夺取磺酸, 或少数情况不在磺酸组中由于夺取磺基二者间所发生的斗争。最后, 在有利于反应的介质中, 磺盐之间可能发生 $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13} + 4\text{Ag}_3\text{AsS}_3 \rightarrow \text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13} + 4\text{Ag}_3\text{SbS}_3$ 型的交换化学反应。在此反应中, 或是生成较难溶的化合物 (如上例), 或是以更普遍的形式出现, 如同硅酸盐矿物那样, 经典的化学原理起作用, 即强碱与强酸结合, 弱碱与弱酸结合。

对磺基而言, “基性强度” 以下列顺序依次递减:



对于磺酸则有



存在于辉碲锡铅矿—圆柱锡矿型矿物中的 $[(\text{SbS})_2(\text{SnS}_4)]^{10-}$ 型二环杂多酸生成的可能性, 使磺酸排列成象磺基那样的序列更加复杂化。

象在硅酸盐系统中刚玉和金红石不能与硅灰石组合 (此时分别生成钙长石和榍石)

一样, 在硫化物系统中, 当 PbS 与辉碲银矿 AgSbS_2 作用时, 方铅矿起着硅酸盐系统中三氧化二铝的作用, 形成辉硫碲铅银矿 AgPbSbS_3 ($\text{AgSbS}_2 + \text{PbS} \rightarrow \text{AgPbSbS}_3$) 或与 CuSbS_2 作用, 方铅矿生成车轮矿 CuPbSbS_3 。区别在于: 三氧化二铝作为两性氧化物, 在与 SiO_2 化合时, 形成 $(\text{AlSiO}_4)^{4-}$ 或 $(\text{AlSi}_3\text{O}_8)^{10-}$ 型的阴离子, 而 PbS 是较强的碱, 在辉硫碲铅银矿中起着明显的碱的作用, 辉硫碲铅银矿本身则是复盐。

类质同象和同质多象

无论是在硅酸盐矿物还是硫化物中, 都有可变成分的矿物和富含类质同象杂质的矿物, 也含有许多微量组分, 这些组分的成分、含量和量比关系, 可以作为指示矿床成因 (矿化来源, 与某种岩石的联系), 其生成条件及区域成矿特征的重要地球化学标志。

有些闪锌矿含铟较高, 有的则含铊或镓, 而斯洛伐克的某些矿床的闪锌矿则含汞和钴这样一些对闪锌矿来说是不寻常的元素。这些杂质既指示成矿特征, 又指示生成条件, 这时不同的温度阶段可用占优势的某种组分或其不同的比值来表征。

需要准确确定微量杂质进入矿物的状态: 如果类质同象界线首先是由温度条件决定的, 则进入矿物的杂质, 或以亚微观的连生体存在, 或以 “I 类固溶液” 的形式存在, 在结晶格架变动中都不受类质同象定律约制, 对于这些定律, 在许多情况下严格的热力学计算是适用的。硫化矿物作为温度条件的指示标志, 通常是以其多形转变为依据的 (见表)。看来这是最准确的标志。但当没有合适的矿物时, 就不得不采用准确程度差的方法。

类质同象杂质的存在例如闪锌矿中的铁, 就属于准确程度差的方法。确实, 能够见到这样一个总的规律, 即较高温的闪锌矿

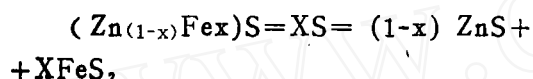
含铁较高（特别是Христофит，再就是黑色的铁闪锌矿，含铁较少的褐色普通闪锌矿、浅褐色闪锌矿，最后是蜜黄色、浅绿色或无色的纯闪锌矿）。

Kullerud G. 计算了压力对 ZnS 中 FeS 溶解度的影响。下面是部分数据：

T·C	1 大气压	1010 大气压	2000 大气压	3000 大气压	5000 大气压
200	6.17	5.25	4.48	3.70	2.75
300	9.35	8.17	7.17	6.26	4.80

这可以解释为， FeS 具有较高的配位数（等于6），而 ZnS 的配位数仅等于4。

但 Kullerud 在其著作中提出了一个重要的批判性意见，指出：在硫蒸气分压升高时，甚至是在闪锌矿能够含铁更高的温度之下，也将发生闪锌矿的脱铁作用：



至于闪锌矿中镉的含量，则是随着闪锌矿生成温度的减低而增多，从而证明了离子

半径大的元素聚集于较低温的世代中的这个法则。

压力的作用

硫化矿物作为压力指示标志，比起许多氧化矿物来，研究程度要差些。所以，只能说随着压力的增加，对于同一些多形变种而言，比重大的矿物比比重小的矿物更稳定。例如，计算比重为4.875的白铁矿 FeS_2 ，见于地表或近地表条件下，而计算比重为5.003的黄铁矿，则可见于深度很大的地方。高压下纤锌矿转化为闪锌矿。至于类质同象杂质，则压力增大有利于半径小的原子或离子进入，同时硫化物中共价键的程度高，会使这一规律复杂化，这在离子晶体中表现尤为明显。

随着压力的增高，硫盐变得不稳定。在产出不深或近地表的矿床中，硫盐类矿物占优势的事实，就是极好的证明。这个现象的物理意义可作以下解释，即络合物（硫盐属

硫化矿物的转化温度

矿 物	低 温 变 体	转 化 温 度, C°	高 温 变 体
磁黄铁矿 Fe_7S_8	α -磁黄铁矿	138	β -磁黄铁矿
	β -磁黄铁矿	325	γ -磁黄铁矿
黄铜矿 $CuFeS_2$	正方晶系	547 ± 5	等轴晶系
	同上（存在方黄铜矿）	480	
斑铜矿 Cu_5FeS_4	正方-偏三角体	228	六八面体
方辉铜矿 Cu_9S_8	低温的	75或83	高温的
辉铜矿 Cu_2S	斜方-方锥状	103.5	正方晶系
硫铜银矿 $AgCuS$	斜方-双锥状	78	等轴晶系
硫化银 Ag_2S	螺旋硫银矿	179或177.8	辉银矿
硒银矿 Ag_2Se	斜方-复楔状	133	六八面体
硒铜银矿 $AgCuSe$	α -斜方晶系	190	假正方晶系
雄黄 As_2S_2	α -雄黄	265	β -雄黄
辰砂 HgS	辰砂	344 ± 2	黑辰砂
Науманит SnS_2	β -六八面体	692	α -等轴晶系
块状硫砷铜矿 Cu_3AsS_4	正方晶系	320	斜方硫砷铜矿
轻硫砷银矿 $AgAsS_2$	轻硫砷银矿（正方）菱形十二面体	335 ± 5	单斜硫砷银矿
辉砷银矿 $AgSbS_3$	单斜辉砷银矿	360	假等轴晶系
硫铋银矿 $AgBiS_3$	六方晶系	225	针铅铋银矿（等轴）

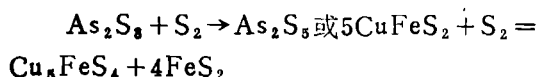
于络合物类)比构成它的组分(随着压力的增高发生与体积减小相伴的那些作用!)体积总数具有更大的分子体积。绝大多数硫化矿物是由受热的、常常是碱性的(而不是酸性的)水溶液中生成的,而且溶液的碱性可以是不同的。碱性有利于生成硫盐型的化合物,而在酸性溶液中则常分解为较简单的组分。

介质的pH和Eh的作用

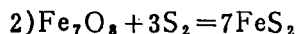
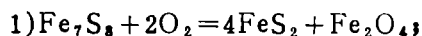
假定硫盐是重金属与 SbS_3^{3-} 或 $\text{Sb}_2\text{S}_4^{4-}$ 型的阴离子相互作用的结果生成的,则其结构必将与溶液的碱性值有极大关系。比方,如果在弱碱性溶液中锡以 SnS_3^{3-} 阴离子的形式存在,在碱性较强的溶液中则以 SnS_4^{4-} 阴离子存在。碱性进一步增高,在硫阴离子中可发生一个硫原子置换一个氧原子:



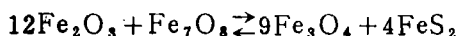
有理由设想,甚至在低温下,磁黄铁矿可以取代黄铁矿由碱性溶液中生成。溶液碱性的增高,对由溶液中生成的晶体的晶习有影响。在硫化矿物的情况下,氧化还原过程可出现两种情况:1)一般情况是被氧化化;2)对硫化物系统则被硫氧化,例如:



以磁黄铁矿为例,这两个过程将有以下形式:



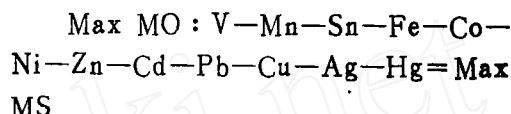
在铁的氧化物和硫化物之间,由于温度和压力不同,存在着逆平衡:



将黄铁矿加热(与空气隔绝),在温度约675°或743°时,它将分解,生成磁黄铁矿和气体硫。在高温下结晶的超基性岩中,和变质程度高的变质岩中,磁黄铁矿的存在使人们确信它是高温成因的一个指示标志。但

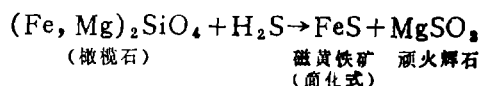
Stevens R. E. 指出,这个过程也可以发生于温度根本不高,但碱性较高的硫化溶液介质中。

对于氧化物与硫化物共生的许多情况,了解氧化物的硫化顺序(或者相反,了解硫化物的脱硫作用)是重要的。在 $(\text{Cu}, \text{Mn})\text{CO}_3$ + 锡的硫化物;锡石 SnO_2 + 磁黄铁矿 Fe_7S_8 ;菱铁矿 FeCO_3 + 针硫镍矿 NiS 或含铁辉石和镍黄铁矿 $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$ + $(\text{Ni}, \text{Fe})_9\text{S}_8$;方铅矿 PbS + 硅锌矿 Zn_2SiO_4 等共生组合的基础上,可以列出相对于氧化物而言对硫的“亲和力”不断增高的序列:



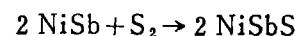
关于硫化程度,可作两方面的讨论:

1)氧化物转变为硫化物的程度,如:

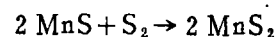


+H₂O

2)硫的饱和程度,如

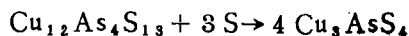


红砷镍矿 砷硫镍矿



硫锰矿 褐硫锰矿

类似的反应是与第一种情况不同的被游离硫氧化的反应,这从下列 As^{3+} 转变为 As^{5+} 的反应中可以清楚的看出:

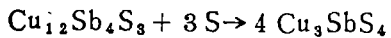


砷黝铜矿 斜方硫砷铜矿

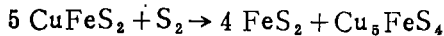
地壳中分布最广的“亲硫代”金属——铁,可以作为第一类反应的地球化学指示标志;铁参与氧化—硫化平衡,而且地壳中2/3或3/4的硫化物硫与其结合。为了讨论硫化作用进行的完全程度,就要根据周围介质中的 FeS/FeO 来判断。

生成黄铁矿的过程极易发生(尽管其分子式为 FeS_2 ,铁为二价),这就排除了运用黄铁矿—磁黄铁矿比值判断第二类反应

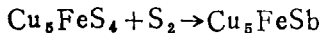
(硫化物被元素硫氧化)出现程度的可能性。为此目的,最好是用下列反应式右边的矿物作为地球化学指示指标:



黝铜矿 脆硫锑铜矿

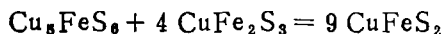


黄铜矿 斑铜矿

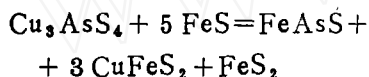


斑铜矿 伊达矿

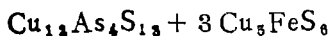
伊达矿甚至能与象方黄铜矿 CuFe_2S_3 那样的“还原”矿物起反应生成黄铜矿,足以说明它的高度氧化特性:



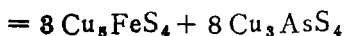
方黄铜矿是把象 FeS 这样的强还原剂加入到黄铜矿的产物,这就决定了它的还原性质。 FeS 的还原性质,可从它与斜方硫砷铜矿的反应看出,此时五价的砷变为毒砂的砷化物砷:



在与铜—砷黝铜矿——砷黝铜矿的化学反应中,伊达矿能形成诸如斜方硫砷铜矿和斑铜矿这样的被硫氧化的矿物:

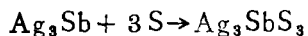


砷黝铜矿 伊达矿

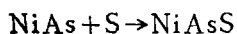


斑铜矿 斜方硫砷铜矿

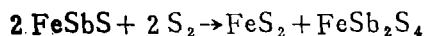
下列反应右边的矿物,也可以作为被元素硫所硫化的过程的指示标志,相反,左边的矿物则指示硫不饱和:



斜方锑银矿 硫锑银矿



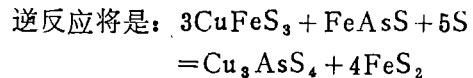
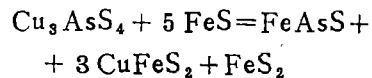
红镍矿 辉砷镍矿



硫锑铁矿 黄铁矿 辉铁锑矿

与被元素硫氧化有关的大量氧化还原反应,是硫化反应的基础。相反,硫化反应中的还原剂则是陨硫铁 FeS 。甚至象含五价

砷这样的氧化了的化合物斜方硫砷铜矿 Cu_3AsS_4 ,也可以被陨硫铁 FeS 还原到毒砂,这就足以判断其还原特性:



陨硫铁和雄黄生成于截然不同的条件下,单凭这一点,二者在自然界中也不能在一起共生。但从氧化还原反应的观点,这种共生组合也是不可能的,因为在陨硫铁相对不足时,陨硫铁与雄黄互相作用: $2\text{FeS} + \text{As}_2\text{S}_2 \rightarrow 2\text{FeS}_2 + 2\text{As}$ (黄铁矿与自然砷是现实存在的组合)或在陨硫铁过剩时: $4\text{FeS} + \text{As}_2\text{S}_2 \rightarrow 2\text{FeAsS} + 2\text{FeS}_2$ (毒砂与黄铁矿)。

因此,陨硫铁及在陨硫铁过剩时所得到的硫化矿物,可以是硫化物成矿中还原介质的指示标志。

硫化矿物的形态成因特征

黄铁矿和磁黄铁是自然界中最常见的硫化矿物。

FeS_2 在自然界中存在两种重要的多型变种: (1) 在较高温度下,从中性或弱碱性溶液中生成的黄铜矿,它在不同条件下是较普遍和较稳定的; (2) 分布不很广的白铁矿,在较低的温度下,它从酸性介质(在强酸介质中,铁的硫化物分解)中,可能是在存在一定的离子的条件下,单变主地转化为黄铁矿。

黄铁矿在自然界里分布极广,这使它以其形态成因特征,成为可贵的指示矿物。

分布最广的是黄铁矿的立方体,其次是五角十二面体,再次是八面体。除了这些占优势的简单晶形之外,黄铁矿晶体有时还具有其他的简单形状,形成各种组合形状,后者作为缓慢生长的晶形是占优势的。

Ю.В.Казинцын指出,不带联合晶纹

的黄铁矿立方体,是在富硫的介质中生成的,产于粉砂岩和页岩中。五角十二面体发育于含赤铁矿的石英脉和石英—碳酸盐脉及空洞中。八面体对破碎带及热液改造带是特征的,这种地带与碳酸盐、方铅矿,有时与毒砂伴生。

С.Т.Батагов指出,黄铁矿立方体“对石英—金和硫化物成分的细脉—脉状矿体,黄铁矿矿石”和夕卡岩是有代表性的;五角十二面体对绿泥石化侵入岩和明矾石化带是有代表性的;八面体则见于重晶石晶体上和硬石膏化的岩石中。

Г.К.Абдулаев列举了不同类型矿床的大量实际资料,指出在成矿堆积作用的发育过程中,低温阶段和中等深度的黄铁矿,其形状是最多样的。在高温热液矿床中,黄铁矿的形态减至2~3种,而且常是立方体,兼有八面体和五角十二面体的晶面。在中温条件下形成的是五角十二面体、菱形十二面体、八面体、立方体、三角三八面体和偏方复十二面体。在低温矿床中,立方体和五角十二面体重新占优势,再晚就只有立方体。

阿塞拜疆的帕拉恰黄铁矿矿床,主要矿物是石英、黄铁矿、辉钼矿、黄铜矿、绿泥石,次要矿物是闪锌矿、方铅矿、黝铜矿及其他矿物。黄铁矿为立方体,兼有五角十二面体和八面体晶面。立方体的晶面上,见有四个方向的明显晶纹,在八面体、有时在五角十二面体的晶面上,分别见有三角形和垂直的组合晶纹。有人指出,黄铁矿的立方体以夕卡岩多金属和夕卡岩磁铁矿矿床为特征;五角十二面体对热液矿床特征;八面体对煤矿特征。八面体常见于粘土层,而立方体与八面体组合和肾状黄铁矿,一般对沉积岩是特征的。

В.Г.Прохоров指出,在生成温度高于250°时,黄铁矿具电子导电性,而低于250°则具有孔穴导电性。

Cambel B等研究了800个黄铁矿的16

个微量元素(Co、Ni、Bi、Sb、As、Tl、Ag、Au、Mo等)。微量元素可以作为重要的地球化学指示标志,用以判断黄铁矿的成因和共生组合。

Schron W.等所测定的黄铁矿标样“ИС—1”(含Fe 40.70%, S—43.16或换算成FeS₂含Fe 48.53, S—51.46%,理论值分别为46.55和53.45%)表明,微量组分是以下列顺序逐次减低的(%): As—0.27, Mn—0.26, Pb—0.035, Cd—0.02, Ni—0.017, Sn—0.015, Tl—0.01, In < 0.01, Co—0.009, Se—0.006, Sb—0.005, Ag—0.003, Zn—0.0019, Re被忽略, Au—0.04克/吨。虽然这个样品和其他许多类似的样品一样,反映了区域地球化学特征,但上述黄铁石中微量元素含量的数字仍可以作为对比资料。

黄铁矿的许多其他特征如热电动势等,也可以作为指示黄铁矿成因的标志。

黄铜矿较少形成好的晶体。М.И.Новгородова研究了不同成因类型矿床黄铜矿晶体的形态,所研究的晶体,多数是正方四面体的常态晶面P(112)发育。晶面t(111)可能不稳定,并长满晶面P(112)。后者与复四面体的偏三角体晶面x(124)组合。晶面的晶纹程度是极不相同的,它可以作为最重要的形态成因标志。负的四面体晶面 $\bar{P}$ (122),光滑而发亮,而正的四面体晶面P(112)则被稠密的组合晶纹掩盖,这可以指示成矿溶液的过饱和。捷丘赫矿床热液卡斯特空洞中的大型黄铜矿晶体(达3~4厘米)为等轴状,这是晶面P(112)与z(101)组合的发育造成的。组合晶纹的特征常说明是从过饱和溶液中结晶出来的,而达升凯桑的黄铜矿晶体的偏三面体晶面x(124)和四面体晶面t(111)极发育,具有对这些晶面很典型的晶纹,它是由弱饱和溶液中生成的。由此得出结论:影响黄铁矿晶体多型的最重要因素是成矿溶液的饱和

金矿床的形成条件与类型在地质史上的演化

确定成矿过程在地球发育史上所处的地位,是研究矿床成因的一项重要任务。解决这个任务,在理论上可以进一步认识地质过程总的演化状况;在实际上可以帮助预测和评价不同时代、不同类型大地构造范围内的各种矿化点。如果和有关矿化空间分布规律的工作相比,研究成矿作用在时间上的演化则做得较少。

针对已发表的世界近一千个金矿床的资料进行分析,并结合在苏联的金矿区和含金地帯的工作成果,笔者认为可以划出以下五个金的成矿期:

1. 太古代成矿期,指的是在古老地盾绿色岩带形成的金矿化。
2. 元古代成矿期,主要指的是在原始地台和原始地槽条件下形成金矿床。
3. 古生代成矿期,指的是从里菲期到古生代的地槽-造山系中形成金矿床。
4. 中生-新生代成矿期,指的是地球发育的大陆-海洋阶段在构造岩浆活化过程中金的富集。
5. 现代成矿期,指的主要是在晚第三纪-第四纪大陆条件下形成砂金矿。

以上几个成矿期的命名是相对的,因为往往不能完全包括相应的地质年代所代表的那段时间,而且由于在矿床成因方面的时间间距概念还研究得不够,所以这几个成矿期的叫法也很不一致。

太 古 代 含 金 期

太古代含金期包括了最古老的绿色岩带的形成时间,而这段时间的长度可以说是很有限的,即在35~25亿年之内。这种岩带,在加拿大、西澳、南非、罗得西亚、印度和圭亚那等

程度;微量杂质的成分对晶体晶习影响不大。

有人指出存在着两类闪锌矿:1)热液铅锌矿床所特有的四面体或立方八面体;2)菱铁矿、萤石-重晶石和交代型铅锌矿床所特有的十二面体(较年青的类型)。

板状的辰砂晶体多生成于矿体上部的破碎带内,这里由于温度、压力急剧减低,辰砂与玉髓状石英、高岭石和其他矿物的泉华集合体伴生。等轴状的、晶面很多的晶体常分布于矿体下部,见于具有普通的角砾构造的矿石中,含有十万分之几的铜、铅、锡等和1%的锌。较大的柱状晶体分布在前两类的

更下部,所含杂质比第一类多,但比第二类少。最常见的是晶面 $\{10\bar{1}0\}$ 和 $\{10\bar{1}2\}$ 发育的晶体。六方柱的头部常生成许多晶面。

综上所述,作为地球化学指示标志的硫化矿物,可从以下几个方面研究:1)化学成分;2)类质同象杂质及硫化物中发生的多型转化(不同温度下);3)在压力影响下硫化物中发生的转化;4)介质的pH和Eh对硫化物成矿特性的影响;5)形态成因特征。

鲁 宁译自:《Геохимия》,
1976, № 10,
СТР. 1451~1461

作者:В.В.Щербаков