

金矿中黄铁矿的标型特征及应用

郭育珂

(成都理工大学地球科学学院 四川成都 610059)

摘要:黄铁矿是自然界中分布广泛的金属硫化物矿物之一,同时黄铁矿也是在金矿床中重要的载金矿物,是矿化的重要标志。矿袖在形成时不管是物化条件还是成分上的微小变化,都会反映在矿袖之上,使其在某些性质上有不同的特征。把矿物标型应用在揭示矿物形成条件与找矿标志上,已逐渐被大众接受与应用。通过对黄铁矿形态、成分和物理性质标型特征的总结及目前有关于黄铁矿在矿床中的研究的简要综述,发现黄铁矿在矿床中,尤其是金矿床具有深远的意义,应用其标型特征不仅可以进行矿床成因分析(如 Co/Ni, S/Se 元素的特征比值),还可以作为一种找矿标志,在成矿远景方面给出重要信息。

关键词:黄铁矿;标型特征;金矿床;找矿应用

矿物标型学说是成因矿物学的主要内容之一。主要包括形态、成分、结构、物性和谱学标型。矿物在形成时不管是物化条件还是成分上的微小变化,都会在反映在矿物之上,使其在某些性质上有不同的特征。黄铁矿是与金成矿关系最为密切的矿物之一,其作为标型矿物是寻找金矿床的重要标志之一,利用黄铁矿的晶体形态、化学成分标型特征及热电性在评价金矿床的深部远景、矿床成因等方面都具有重要意义。因此,对黄铁矿进行的各种标型研究可以得到矿床其形成的相关信息,对找矿有重大指示意义。笔者在前人已取得成果资料的基础上,结合工作实践,针对国内外主要原生金矿床中黄铁矿的某些标型特征作一些归纳和总结,并对其在金矿地质找矿中的应用作些探讨。

1 黄铁矿的概述

黄铁矿(FeS_2)因其浅黄铜色和明亮的金属光泽,常被误认为是黄金,故又称为“愚人金”。成分中通常含钴、镍和硒,具有 NaCl 型晶体结构。成分相同而属于正交(斜方)晶系的称为白铁矿。成分中还常存在微量的钴、镍、铜、金、硒等元素,含量较高时可在提取硫的过程中综合回收和利用。

1.1 化学成分

理论组成(wB%)是:Fe 占 46.55%, S 占 53.45%。常有 Co、Ni 类质同像代替 Fe,形成 $\text{FeS}_2\text{-CoS}_2$ 和 $\text{FeS}_2\text{-NiS}_2$ 系列。随 Co、Ni 代替 Fe 的含量增加,晶胞增大,硬度降低,颜色变浅。As、Se、Te 可代替 S。常含 Sb、Cu、Au、Ag 等的细分散混入物。亦可有微量 Ge、In 等元素。Au 常以显微金、超显微金赋存于黄铁矿的解理面或晶格中。

1.2 物理性质

浅黄铜黄色,表面常具黄褐色锈色。条痕绿黑或褐黑。具有强金属光泽。不透明。无解理,断口参差状,

硬度 6-6.5,相对密度 4.9-5.2。可具检波性。黄铁矿是半导体矿物。由于不等价杂质组分代替,如 Co_3 、 Ni_3 代替 Fe_2 或 $[\text{As}]_3$ 、 $[\text{AsS}]_3$ 代替 $[\text{S}_2]_2$ 时,产生电子心(n 型)或空穴心(p 型)而具导电性。在热的作用下,所捕获的电子易于流动,并有方向性,形成电子流,产生热电动势而具热电性。

1.3 产状与组合

黄铁矿在氧化带不稳定,易分解形成氢氧化铁如针铁矿,纤铁矿等,经脱水作用,可形成稳定的褐铁矿,且往往依黄铁矿成假象。这种作用常在金属矿床氧化带的地表露头部分形成褐铁矿或针铁矿、纤铁矿等覆盖于矿体之上,故称铁帽。在氧化带酸度较强的条件下,可形成黄钾铁矾,其分布量仅次于褐铁矿。



图 1.黄铁矿

2 金矿中黄铁矿的标型特征

2.1 黄铁矿晶体形态标型

黄铁矿是绝大多数热液矿床中都出现的矿物,其形态特征能够给出矿床成因和成矿远景方面的重要信息。在金矿中,粗大自形晶黄铁矿含矿性差;细小他形碎裂黄铁矿含金性好。在低过饱和度、低硫逸度和较高温(约

高于 300℃)或较低温(约低于 200℃)条件下,黄铁矿主要呈立方体{100};或八面体{111}习性,含金性差;在高过饱和度、高硫逸度和中温(200~300℃)条件下,黄铁矿呈五角十二面体{hk0}习性,常见各种聚形,含金性好。比如东伙房金矿中黄铁矿{100}+{321}, {210}+{321}及{100}+{210}+{111}3种聚形只出现在主成矿阶段,且主成矿阶段的{100}晶面上条纹较发育,有多种晶型连生现象,可作为一种找矿标志。

2.2 黄铁矿成分标型

黄铁矿的理论分子式为 FeS_2 ,但自然界中的黄铁矿其化学元素组成远不只有 Fe 和 S,其中的 Fe 常被 Co, Ni 类质同象代替。金是铜族元素,具有很强大的单质稳定性,地球化学性质上既具有较强的亲硫性又具有亲铁性,所以含金热液中有黄铁矿析出时,金趋向于富集其中。

黄铁矿的 S/Fe 比值理论上近似为 2,变化范围为 1.8~2.1,但因其 Fe 与 S 常被其他元素类质同象替换,故一般金矿中的黄铁矿 S/Fe 比值与理论值 2 有部分差异。一般将 S/Fe 比值小于 2 的称为亏硫型,高温条件下易形成亏硫型黄铁矿,根据个别文献报道,沉积型的黄铁矿中 S 与 Fe 的比值与理论值近似或略多。一般,外生黄铁矿多硫,内生黄铁矿亏硫;矿体上部和顶部黄铁矿富硫而下部和尾部亏硫。黄铁矿的硫亏损是因为 As^{3-} , Sb^{3-} 等离子与 S^{2-} 类质同象替换,增加了晶体结构上的缺陷,有利于 Au 等元素的富集。因此在金矿床的研究中常把硫亏损作为黄铁矿富含金的一种标志。

2.3 黄铁矿物性标型

2.3.1 热电性

黄铁矿是一种半导体矿物,在自然界地质作用下形成时总是具有晶格杂质存在,因而产生电子心或空穴心,具有不同的热电性。黄铁矿的热电性主要与黄铁矿的类质同象替代有关。黄铁矿在空间和时间上具有一定的规律性。根据大量的实验测试与研究分析,早期高温条件下结晶的黄铁矿呈现电子导型或 N 型,是由于高温黄铁矿亏硫,导致 Co、Ni 等高价离子杂质进入晶格,晚期低温条件下黄铁矿呈现空穴导型或 P 型。高温环境下,黄铁矿中铁过饱和,硫起施主作用(N 型导电),晶体中很少有结构上的缺陷;在低温环境中形成的黄铁矿为硫过饱和,铁空位而起受主作用(P 型导电),晶体结构缺陷明显(Smith et al.,1947)。因为低温黄铁矿富硫,使 As、Sb、Te 等低价离子杂质进入晶格,而在空间上,从一般热液矿床原生晕的分带序列来看,Co、Ni 晕常在矿体下部相对富集,而 As、Sb 等挥发组分常在矿体上部聚集,

即黄铁矿在矿体上部多为 P 型导电,矿体下部常是 N 型导电,中间部位导型是过渡变化的。

2.3.2 晶胞参数

成分变化是导致黄铁矿晶胞参数变化的主要原因,其次是温度和压力的影响。晶胞参数可以用来指示黄铁矿的含金性、成矿环境和矿化温度的对比。纯净的黄铁矿(S/Fe=2)的理论 $a_0=5.4175\text{Å}$,一般含金的黄铁矿会有半径较大的阳离子如 Ni 替换 Fe 离子,是其晶胞增大,但如果硫逸度较低时,黄铁矿 S/Fe<2,使晶体中出现硫的空位,S-Fe 键性会增强,导致晶胞缩小。一定条件下,黄铁矿的晶胞参数可以指示硫逸度的高低,同一矿体成分类似的黄铁矿的晶胞大小可以反映成矿温度的相对高低。

2.3.3 核磁共振

核磁共振可以研究矿物的晶体缺陷、矿物中水的状态和类型及矿物成因等内容。通过核磁共振研究发现黄铁矿中的水有包体水和代替 S^{2-} 的 OH^- 。在金矿床中,黄铁矿含金量越高,核磁共振的信号就越强,二者呈现正相关关系。

2.3.4 红外吸收谱

黄铁矿的红外光谱研究并不广泛,但仍可作为一种标型特征。可利用红外吸收谱来进行黄铁矿成矿阶段的划分。

目前,仍有很多学者在进行黄铁矿性质的标型特征研究,在一些方面国内外还未有统一的观点,不同的地区、学者、不同的研究方法得出的结果也不尽相同。但规律总结只能反映出黄铁矿在所有矿床中的大概情况,具体问题要具体分析。

3 黄铁矿标型在金矿床中找矿的应用

3.1 黄铁矿对于寻找卡林型金矿床的意义

通过前人的研究发现,具有以下标型特征的黄铁矿对于寻找卡林型金矿具有重要指导意义:①黄铁矿形态呈微浸染状分布,光泽暗淡、显绿黄色的细粒五角十二面体或具生长环带(而不是重结晶环边的立方体)②黄铁矿成分富含 As($3100 \times 10^{-6} \sim 51600 \times 10^{-6}$)且含一定量的 Ti($0.8 \times 10^{-6} \sim 11 \times 10^{-6}$)、Co/Ni 比值小于 1、Au/Ag 值大于 1、Se/Te 值小于 10③黄铁矿物理性质: a_0 值较大(一般大于理论值 0.5417nm)、视觉反射率低于 54.6%,纯度较高(大于 13.2%)(两者兼具)、热电系数 $\alpha +100 \sim +300 \mu\text{V}/\text{C}$ 为以的空穴导型、显微硬度(VHN)低于 $900\text{kgf}/\text{mm}^2$ (不包括含 $\text{Au} < 1 \times 10^{-6}$), (陈曦等,2009)。

3.2 黄铁矿中微量元素与含金性的关系

金病矿物中的微员元素,虽然一般都不具有工业价值,

但其对矿物的某些物理性质(如比重、导电率、晶胞参数等)和含金性却可能产生重要影响,它还可以反映成矿的某些物理化学环境和成矿地质条件,故对矿物中微量元素的研究,愈来愈被人们所重视。在金矿床研究工作中,黄铁矿的微量元素就更为突出。

金矿床中黄铁矿内的微量元素除了 Au、Ag 而外。经常还有 Cu、Pb、Zn、Ni、Co、Se、Te、Tl、Bi、Mo、As、Sb、Hg 和某些铂族元素。其中主要是 Au、Ag、Ni、Co、As、Sb、Bi、Mo 及 Se、Te。从元素在周期表上的位置来看,这些微量元素主要都是构成黄铁矿的 Fe、S 同族或毗邻族的元素,且多具有较强的亲硫性能。许多材料还证明:Os、Ir、Pt、Ru、Rh、Pd 等微量元素主要是在基性和超基性成因的黄铁矿中,而在其它类型金矿床的黄铁矿中,则分布甚微。故对与基性、超基性岩有关的金矿床,以及由变质而成的金矿来讲,查明黄铁矿中微迹铂族元素含量,是确定金矿床成因的主要标志。

微量元素在黄铁矿中的变化特征,往往能反映出金的富集规律和矿床成因。

黄铁矿中 As 含量高往往是富金的主要特征,特别是岩浆热液矿床。黄铁矿中 As 是代替 S₂ 的位置,因而导致晶胞参数增大,化学键联结能力减弱,晶格易发生错位,形成晶格缺陷,有利于金赋存在此类黄铁矿中。威尼斯(1973)等用电子探针分析美国卡林金矿床的矿石时,他发现次显微状金(<0.5 μ)与砷一起富集在细粒黄铁矿中,而且主要分布在砷比较高的边缘环带中。团结沟、二台子金矿床中黄铁矿的含金量与砷含量也呈正相关关系。从理论上讲,硫与砷有密切的地球化学共生关系,在还原条件下,当溶液中硫亏损时则金、砷和硫可构成 [AuAs]²⁻、[Au(AsS₃)]²⁻ 等络合物在热液中运移和沉淀。

钴、镍也是黄铁矿中重要的微量元素,虽然有些金矿床的黄铁矿中,存在着 Au、Ag 与 Co、Ni 成正消长关系,但许多矿床则不存在这种正比规律。

历来人们都非常重视黄铁矿中 Co/Ni 值的研究,并据此来判定矿床成因或其形成环境。一般认为 Co/Ni>1 者多为内生成因,Co/Ni 比值<1 时多为外生矿床。由于具体条件差异,也可出现反常情况。

奥戈尔(1981 年)在研究了加拿大许多金矿床中黄铁矿的微量元素后指出:在一个矿山或者一个地区内,总是有几种微量元素大大超过其它微量元素;不同类型矿床其黄铁矿中微量元素也不相同;有时围岩性质对黄铁矿的微量元素种类也有较大影响,所以对黄铁矿中微量元素的研究必须同围岩中微量元素结合起来进行。(郭福祺, 1988)

综上所述可以看出金矿床中黄铁矿的微量元素含量与金的含量有一定的相关关系。

3.3 黄铁矿的热电性在金矿找矿中的地质意义

大量研究表明,在矿体的轴向上,P 型黄铁矿的热电系数数值,随取样位置的升高而增大,N 型黄铁矿的热电系数数值,随取样位置的升高而绝对值减小(杨国杰等, 1992)。根据这一变化规律,可以用来判断矿体的剥蚀深度:当一定标高矿体中的热电系数为正值且高时,表明矿体剥蚀较浅,深部有很好的找矿远景,如果黄铁矿的热电系数为负值且绝对值高时,则表明矿体已遭受深部剥蚀,矿体向下延伸不会太远。如果两种导电性的黄铁矿同时出现时,说明侵蚀截面已经到了矿体的中部。根据 P 型黄铁矿或者 N 型黄铁矿的热电系数值在矿体不同高度的变化值,可以求得它们的变化梯度。如果 P 型黄铁矿在不同高度的热电系数值变化不大,说明该矿体的垂向变化梯度不大,这个矿体本身的规模比较大,深部远景比较好,矿化延伸深度可能比较大。如果 P 型黄铁矿在不同高度的热电系数变化较大,说明这个矿体的规模本身就比较小,深部远景不好,矿化延伸深度比较小。这对于找矿评价和指导勘探工程的布置具有实际意义。(宁钧陶等, 2012)。

参考文献:

- [1]陈曦,赵岩,赵旭,李薇.黄铁矿标型特征在矿床中的应用[J].科技创新导报,2009(04):54.
 - [2]彭人勇,周云廉.江西黄沙金矿床黄铁矿矿物学特征研究[J].华东地质学院学报,2000(01):6-10.
 - [3]王碧青.黄铁矿标型特征及其应用[J].科技资讯,2015,13(06):244.
 - [4]杨国杰,孟舞平.1992.黄铁矿热电性作为金矿找矿矿物学应用的机理探讨[J].山东地质情报,3:36-43.
 - [5]宁钧陶,郭喜运,符巩固,黄宝亮,高卓龙,康博.黄铁矿的标型特征及其对金矿床成因与找矿勘查的启示[J].东华理工大学学报(自然科学版),2012,35(04):352-357.
- 姓名:郭育珂 出生年月:1997.04 性别:女 民族:汉族
籍贯(精确到市):河南省 洛阳市 当前职务:在读研究生
当前职称:在读研究生 学历:在读研究生
研究方向:地质学 三矿方向(矿物学,岩石学,矿床学)