

金银矿床中黄铁矿的标型特征

成都地质学院 帅德权

黄铁矿是一种遍在矿物,从岩浆矿床→热液矿床→沉积矿床→变质矿床中,几乎都有产出。

在热液矿床中黄铁矿与金的关系尤为密切,绝大多数原生金—银矿床中都有大量黄铁矿产出。例如:金—黄铁矿—石英脉;金—黄铁矿—辉铋矿—石英脉;金—黄铁矿—黄铜矿—石英脉;金—黄铁矿—方铅矿—石英脉等。在这些金—硫化物—石英脉中,黄铁矿是标型矿物,是寻找金矿的最主要标志之一。

由于金和铁化学性质相似,两者常密切伴生,并经常含于黄铁矿中,因而,对金银矿床中黄铁矿的标型特征进行探索,就显得很有必要。

黄铁矿晶形的标型特征

实践表明,在金银矿床中当黄铁矿晶形完整时含金不够理想,甚至很低,当黄铁矿晶形不好时含金就较好,甚至很富。在金矿脉中,黄铁矿富集部位如果破碎严重,且破碎裂隙、裂缝被Cu、Pb、Zn、Bi、Sb等硫化物穿切、充填、“愈合”时,则含金必富,成为富矿脉、富矿段。我国许多金矿脉在反光镜下研究时,常见金矿物(主要是银金矿、金银矿)毫无例外地选择黄铁矿颗粒缝隙,尤其是黄铁矿颗粒的破碎裂缝作为沉淀产出的理想场所。例如:河南某金矿在显微镜下,常见金矿物与方铅矿、闪锌矿紧密伴生并同时沉淀于黄铁矿的颗粒缝隙及颗粒破碎裂隙中和黄铁矿颗粒边缘。川北某金矿中镜下常见金呈细脉状及细丝状沿黄铁矿及石英破碎部位充填,或呈不规则伏沿石英或黄铁矿裂缝充填,或呈不规则伏沿黄铁矿颗粒边缘沉淀。山东招远玲珑一带金矿中黄铁矿破碎带被黄铜矿细脉穿切、贯入、愈合部位含金最富,在反光显微镜下,常见金矿物与黄铜矿细脉共同选择黄铁矿颗粒及裂缝充填晶出。其他矿床也都与此类似,这都表明黄

铁矿晶形不好时,其碎裂严重处是金沉淀的理想场所,含金必富。

金的沉淀时间都晚于黄铁矿,而与黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、黝铜矿、辉铋矿等晶出时间一致,属于中温组合的矿物。常见的金矿物为银金矿和金银矿,自然金并不占主要地位,这一点已由近年来电子探针分析资料所证实。此外,金矿物选择黄铁矿颗粒缝隙及颗粒裂缝归并亦表明金矿物形成时间晚于黄铁矿。

在金—硫化物—石英脉中黄铁矿晶粒的大小与金矿物的归并富集密切相关,因而黄铁矿晶体大小也具有含金贫富的标型意义(表1、2、3)。如河南某金—黄铁矿—石英脉中凡黄铁矿晶粒粗大完整者一般含金都不好,品位很低,而脉中黄铁矿细密部位、破碎严重地段金品位都高,最高达30克/吨。

不同的金银矿区都有这样的趋势:黄铁矿粒度越大含金量越低,粒度越细含金量越高。这也与金的归并与崩解作用有关。

国外对金的归并研究认为:在变质过程

河南某金矿中黄铁矿晶粒与银金含量关系 表1

矿物	晶形及粒度特征	金银含量
黄铁矿	粗晶, 粒径约10 mm, 碎裂不严重 (光片所见)	含金、银很低, 或基本不含
黄铁矿	细粒, 粒径约2 mm, (光片所见, 坑道所见)	含金高, 最高达30克/吨

山东某金矿中黄铁矿晶粒与银金含量关系 表2

编号	矿物	晶形及粒度特征	金银含量
02	黄铁矿	晶形较完整, 粒径最大约10mm, 最小约1mm, 碎裂不严重	金: 21.5克/吨 银: 8.0克/吨
01	黄铁矿	晶形不好, 粒径最大约5mm, 最小1mm, 碎裂较严重	金: 114克/吨 银: 244克/吨

秦岭某金矿中黄铁矿粒度与金含量关系 表 3

矿 物	粒度 (mm)	含金量 (克/吨)
粗粒黄铁矿	> 5	5.6
中粗粒黄铁矿	3 ~ 5	24.2
中粒黄铁矿	8	83.9
中细粒黄铁矿	1 ~ 3	138.0
中细粒黄铁矿	1 ~ 3	219.4
中细粒黄铁矿	1 ~ 3	294.9
细粒黄铁矿	0.1 ~ 0.5	512.2

据潘毅昌等

中矿石比岩石要灵敏得多, 周围物理化学条件发生变化时矿石就重结晶, 有时还形成新的矿物组合。自然金、方铅矿、闪锌矿以及黄铜矿等在成矿作用后, 由于热能的影响常使金发生迁移。尤其在裂隙发育地段迁移最强烈。在热变质过程中随温度升高可以产生金粒的归并, 在更高的温度下则可能产生金粒的崩解。

热液金矿脉在成矿过程中由于热液作用、变质作用的影响温度压力必然升高, 就是当这些作用结束后脉中热量的散失也会持续很长的时间, 而矿脉中心与边缘、地表浅部与较深部散热速度不等, 因而在硫化物和石英脉以及在矿脉的中心部位客观上在进行金的热归并作用。加之金亲铁, 因而在黄铁矿密集及破碎部位有利于原生金矿物的沉淀, 在结晶作用之后又有较长的热归并作用使金矿物颗粒加大, 从而利于形成各种含金硫化物石英脉。

此外, 柯尔仁斯基等认为: 晶体表层具有高能量。因此晶体的归并伴随着自由能降低, 使这一过程能自发进行。大小不同的晶体其“表面能力”也不同。在同一矿物集合体中粗粒物质比细粒物质处于较小压力之下, 物质所处的压力增加, 它的组分的化学势随之增加, 从而可引起固态物质的扩散和归并, 由此可以解释固态金长大这一事实, 也可解释为什么粗粒黄铁矿含金差, 而细粒黄铁矿含金较富这一事实。

黄铁矿光性的标型特征

不同成因类型的黄铁矿颗粒磨光后在反光镜下常有异常光性出现, 即出现异常非均质性。在不严格的正交偏光下转物台时便可

见淡橙红色及淡绿色异常出现, 明暗变化也清楚。国际矿相学会主席W. 乌顿布格认为: 这种非均质性可能是由抛光方法或杂质引起的晶格畸变所造成的。在我们实验过的数十个甚至上百个不同成因类型的黄铁矿中, 在磨光方法相同的条件下, 晶格歪扭并不是主要的问题, 而混入的某些杂质元素可能置换黄铁矿中的 Fe^{2+} 离子而引起光性异常。

含杂质的黄铁矿并不都一定显异常非均质性, 这与所含元素有关。我们根据实践的结果初步认为: 若所含元素居于电动序列铁的前列的可以置换 Fe^{2+} 离子, 如含量较多就有可能引起异常非均质性。如 Co、Ni 等可置换 FeS_2 中的 Fe^{2+} 离子, 其他一些元素也有可能置换 Fe^{2+} 离子, 但所含元素为 Au、Ag 时一般不能置换 FeS_2 中 Fe^{2+} 离子。因为 Ag、Au 在电动序列中居于 Fe 之后, 而 Au 则在序列最后, 所以不能取代 FeS_2 中之 Fe^{2+} 离子。而在金银矿床的黄铁矿中主要混入元素是 Ag、Au, 其他如 Se、Te、Co、Ni 等元素因量微不足以引起黄铁矿光性异常。混入黄铁矿中之 Au、Ag 有人研究过, Au 呈电性中和的质点状机械混入物存在于黄铁矿晶格中, Ag 则可能呈 Ag_2S 质点或 AuAg 质点混入其晶格中, 即所谓次显微状金和银不置换 Fe^{2+} 离子, 因此不引起黄铁矿光性变异, 而使黄铁矿仍出现本身的均质性。这样可以解释为什么黄铁矿有的有异常非均质性, 有的又不显异常非均质性。而国内金矿脉中的黄铁矿又几乎都没有光性异常并且含 Au、Ag 也高, 其原因之一可能在此。

黄铁矿中微量元素的标型特征

在金银矿床中黄铁矿常含有 Se、Te、Co、Ni、Bi、Sb、As、Cu、Pb 等元素, 其所含 Ag、Au 量可远远超过工业品位。金—硫化物—石英脉中上述元素的含量决定着黄铁矿中上述元素的含量, 矿脉中 Au、Ag 含量多, 黄铁矿中含 Au、Ag 量也就高。因此, 黄铁矿就成为这类矿床中的标型矿物。形成于金、银矿床中的黄铁矿, 含 Au、Ag 就高。金银矿床中的黄铁矿有意义的还有: Se、Te、Bi、As、Cu、Pb 等元素的含量与 Au、Ag 含量又有着正消长关系。黄铁矿中

Co、Ni与Au、Ag也有密切关系,从这些微量元素含量中,直接或间接地反应着矿床中金银含量的高低,起着信息的作用和标型

的作用,这方面已逐步由许多金银矿床中的分析资料所证实(表4、5、6、7)。

山东某金矿中黄铁矿所含Ag、Au与微量元素

表4

编 号	矿 物	化 学 分 析		
		Au + Ag (克/吨)	Co + Ni (%)	Se + Te (%)
0.1	黄铁矿	$114.0 + 244.0 = 358.0$	$0.021 + 0.002 = 0.023$	$0.00001 + 0.0004 = 0.00041$
0.2	黄铁矿	$29.6 + 76.0 = 105.6$	$0.025 + 0.002 = 0.027$	$0.00001 + 0.0002 = 0.00021$
0.3	黄铁矿	$21.5 + 8.0 = 29.5$	$0.056 + 0.03 = 0.086$	$0.00007 + 0.0003 = 0.00037$

河南某金矿中黄铁矿所含Au、Ag与微量元素

表5

样 号	矿 物	化 学 分 析		
		Ag + Au(克/吨)	Co + Ni (%)	Se + Te (%)
2	黄铁矿	$114 + 3 = 117$	$0.0038 + 0.0005 = 0.0043$	$0.0003 + 0.0008 = 0.0011$
3	黄铁矿	$90 + 30 = 120$	$0.0038 + 0.0005 = 0.0043$	$0.0003 + 0.0008 = 0.0011$
4	黄铁矿	$90 + 5 = 95$	$0.0036 + 0.004 = 0.0076$	$0.0004 + 0.0004 = 0.0008$
5	黄铁矿	$56 + 3 = 59$	$0.015 + 0.003 = 0.018$	$0.0002 + 0.0004 = 0.0006$
6+7	黄铁矿	$40 + 1.5 = 41.5$	$0.004 + 0.000 = 0.01$	$0.0001 + 0.0005 = 0.0006$
8	黄铁矿	$10 + 0 = 10$	$0.0005 + 0.007 = 0.0075$	$0.0001 + 0.0005 = 0.0006$

河南某银矿中黄铁矿及微量元素和 Ag、Au 关系

表6

样 号	矿 物	化 学 分 析		
		Ag + Au(克/吨)	Co + Ni(%)	Pb(%)
07	黄 铁 矿	$2064 + 15 = 2079$	$0.015 + 0.013 = 0.028$	0.80
08	黄 铁 矿	$1620 + 12 = 1632$	$0.015 + 0.012 = 0.027$	2.40
04	黄 铁 矿	$1500 + 5 = 1505$	$0.0092 + 0.027 = 0.0362$	0.75
96	黄 铁 矿	$318 + 9 = 327$	$0.020 + 0.012 = 0.032$	0.46
011	黄 铁 矿	$282 + 6 = 288$	$0.013 + 0.033 = 0.046$	0.28
05	黄 铁 矿	$50 + 2 = 52$	$0.009 + 0.027 = 0.0362$	0.004

苏联中亚某金矿黄铁矿中杂质元素的含量 表7

元 素	样品数量	含 量		
		由	到	平均
金 克/吨	11	11.0	441.0	113.3
银 克/吨	11	4.0	2192.0	416.9
铋 %	9	0.012	0.034	0.028
碲 %	8	0.0188	0.0875	0.0359

据H.H.科罗列娃等

从上列矿区资料可见:

一、金银矿床中的黄铁矿都富含 Au、Ag,其Au、Ag含量与黄铁矿中 Se、Te、Bi、Cu、Pb等微量元素的含量成正比关系。

从周期表上可见,组成黄铁矿的 Fe和S 分别属于第Ⅷ族和ⅥA族,Fe、Co、Ni与

Cu、Ag、Au族元素相邻,因而这些金属元素出现在 FeS_2 中是正常的。而S、Se、Te与ⅤA族元素 As、Sb、Bi 相邻,相邻元素同时出现在 FeS_2 中也是自然的。所以,由铁和硫结合形成的黄铁矿含同族及邻族元素,即含Ⅷ族金属元素和ⅥA族非金属元素及两族之间的元素。实际上,在热液矿床中产出的黄铁矿,普遍都不同程度地含上述元素(见图)。

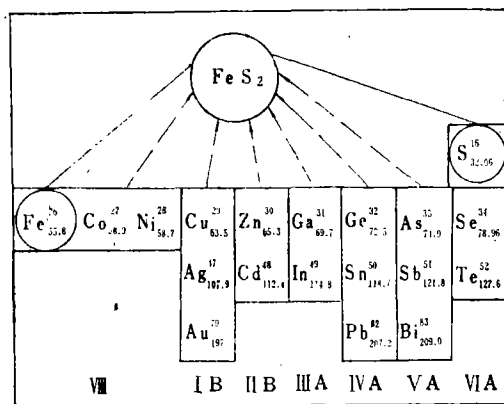
二、金银矿床中黄铁矿微含钴、镍,但远低于夕卡岩矿床中黄铁矿钴、镍,其含量与Ag、Au含量存在反比关系。所以 Co、Ni也是标型元素,与Se、Te也存在反比关系,Se、Te含量相应高时,Ag、Au含量也升高,而Co、Ni就降低(表4、5、6)。

金银矿床中黄铁矿所含Ag、Au与Se、Te关系

表 8

矿 区	矿 物	Ag、Au与Se、Te或Bi、Pb关系	
某 金 矿	黄 铁 矿	Ag + Au = 358.0 克/吨	Se + Te = 0.00041%
		Ag + Au = 29.5 克/吨	Se + Te = 0.00037%
某 金 矿	黄 铁 矿	Ag + Au = 120 克/吨	Se + Te = 0.0011%
		Ag + Au = 10 克/吨	Se + Te = 0.0006%
某 金 矿	黄 铁 矿	Ag + Au = 1384 克/吨	Te = 0.002 %
		Ag + Au = 21 克/吨	Te = 0.00036 %
中 亚 金 矿	黄 铁 矿	Ag = 2192 克/吨	Te = 0.0875 %
		Au = 441 克/吨	Bi = 0.034 %
		Ag = 4 克/吨	Te = 0.0188 %
		Au = 11 克/吨	Bi = 0.012 %
某 银 矿	黄 铁 矿	Au + Ag = 2079 克/吨	Pb = 2.45 %
		Au + Ag = 52 克/吨	Pb = 0.004 %

从图中可知, Co、Ni 与 Fe 同族, Se、Te 与 S 同族, Se、Te 可与 Ag、Au 结合成化合物, 而 Co、Ni 与 Ag、Au 不可能形成化合物, 从而在黄铁矿中 Co、Ni 高时 Ag、Au 降低, 而 Se、Te 高时 Ag、Au 含量反而升高。实际分析资料也证明了这个事实 (表 8)。



热液矿床中黄铁矿所含微量元素
在元素周期表中的分布图

小 结

一、金银矿床中黄铁矿晶形完整、粗粒时晶体“表面张力”相应较小, 不宜于金微粒归并作用进行, 一般含金都低甚至很低; 黄铁矿晶形不完整、细粒或破碎严重时晶

体“表面张力”相应增大, 适宜于金微粒归并作用的进行, 一般含金都富甚至很富。

二、金银矿床中, 黄铁矿一般不显异常非均质性, 可能由于含 Co、Ni 较低之故。

三、金银矿床中, 黄铁矿所含 Ag、Au (克/吨) 量与所含 Se、Te、Cu、Bi、Pb 等的含量成正比关系。因为它们在周期表中居于铁 (VIII 族) 和硫 (VI 族) 之间, 因而易混入黄铁矿中。

四、金银矿床中黄铁矿所含 Ag、Au (克/吨) 与 Co、Ni 含量成反比关系。

五、对金银矿床中黄铁矿标型特征的探索, 可以对矿脉中 Ag、Au 贫富、共生情况以及矿床评价提供数据和资料, 有助于金矿的找勘工作。

本文编写工作中, 得到陈光远教授、张斌老师、漆丹志总工程师等的支持和帮助, 谨此致谢。

参 考 文 献

- (1) 六〇四勘探队, 中心研究室, 《金矿参考资料汇编》二集, 1973
- (2) H.H. 科罗列娃等, 《金矿参考资料汇编》二集, 1973
- (3) B.Г. 莫伊辛科, 《金矿参考资料汇编》二集, 1973
- (4) B.M. 克利依捷尔等, 《论金—硫化物矿床氧化带金的性状》, 中国工业出版社, 1962