

热液脉型铅-锌-银矿床富铁闪锌矿中 硫化物包裹体成因探讨*

黄典豪

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

提 要:通过对热液脉型的铅-锌-银矿床(3个)和银矿床(1个)的闪锌矿中硫化物包裹体的特征研究表明,石英-硫化物阶段富铁闪锌矿(主矿物)的硫化物包裹体十分发育;沿生长带产出的乳滴状黄铜矿与主矿物为共同沉淀成因;沿穿切主矿物的黄铜矿或石英细脉两侧,和受粗粒黄铜矿溶蚀的富铁闪锌矿近接触部位发育的乳滴状黄铜矿为渗透-交代产物;沿解理(裂隙)或粒间、粒内产出的各种形态磁黄铁矿是充填-交代的结果;沿解理分布的脉状毒砂属充填-交代成因;沿解理产出的晶片状或乳滴状黄铜矿和板条状磁黄铁矿,是含这两种矿物成分溶液充填-交代所为,而在含有磁黄铁矿和黄铜矿的同一板条状包裹体中,黄铜矿溶蚀磁黄铁矿。这为查明矿物生成顺序和揭示成矿作用过程具有重要指示意义。

关键词:铅-锌-银矿床 富铁闪锌矿 硫化物包裹体特征 成因探讨

各种成因类型铅-锌矿床的闪锌矿矿物^①(主矿物)中,往往含有硫化物包裹体(寄生矿物),而主矿物和寄生矿物之间呈现出各种花样的交生关系。研究查明这些交生体的成因,无疑对了解矿石矿物生成顺序,揭示成矿作用过程有重要指示意义。自本世纪30年代起,国外学者对闪锌矿矿物中的硫化物包裹体的形成机制进行了探索研究,直至50年代,研究者们通常都认为,这种产状的硫化物包裹体(多指黄铜矿)是出溶作用的产物。Barton (1978)^[2]认为日本黑矿矿石中许多闪锌矿中的细粒圆形黄铜矿包裹体是在主矿物生长之后,可能借助交代作用,而不是通过共同沉淀或出溶形成的。Barton 和 Bethke (1987)^[3]引入闪锌矿“黄铜矿病”(“Chalcopyrite disease”)术语,认为黄铜矿病结构是原来含铁闪锌矿被黄铜矿和作为矿化作用整体部分的低铁闪锌矿交代的结果。Bortnikov 等(1991)^[4]研究苏联几个矿床的闪锌矿中黄铜矿包裹体时,得出结论:①黄铜矿包裹体见于不同含铁量(贫Fe 0.5%~2%和富铁8%~14%)的闪锌矿中,而富铁闪锌矿中不同式样黄铜矿包裹体的成因尚未被确定;②黄铜矿包裹体可以作为闪锌矿的交代结果,或由闪锌矿和黄铜矿共同沉淀而成;③具有交代成因黄铜矿包裹体的闪锌矿含铁量可以降低、保持不变或增加;④新形成的闪锌矿再沉淀以早期闪锌矿被黄铜矿包裹体的交代产物而产生。Mizuta 和 Scott (1997)^[5]研究日本和韩国6个夕卡岩型矿床的闪锌矿中黄铜矿和磁黄铁矿包裹体的特征时,对硫化物包裹体附近富铁闪锌矿的电子探针分析,揭示了两种铁亏损剖面:一种是轻微铁亏损,即靠近圆形黄铜矿包裹体的

* 本研究得到“九五”国家重点科研项目资助

作者简介:黄典豪,男,1937年生,研究员,长期从事矿床地质和地球化学研究。邮政编码:100037

1998-10-20 收稿,1999-01-08 修改回

① 本文中闪锌矿矿物一词包括铁闪锌矿($\text{Fe} \geq 8\%$)、含铁闪锌矿($\text{Fe} 2\% \sim 8\%$)和闪锌矿($\text{Fe} \leq 2\%$),前二者被国外学者统称为富铁闪锌矿,后者被称为贫铁闪锌矿

铁含量轻微减少,这是发生在冷却作用的较晚阶段,并涉及含锌黄铜矿固溶体与含铜闪锌矿固溶体之间的Cu、Fe、Zn交换反应,表明圆形黄铜矿包裹体是交代作用的产物。另一种是强烈铁亏损,即在黄铜矿晶片和磁黄铁矿板条附近的较大铁亏损。这被认为是黄铜矿和磁黄铁矿由固溶体出溶所致。

综上所述,有关闪锌矿矿物中硫化物包裹体的成因,可归纳出以下几种可能的形成机制:①原来两种硫化物相的交生或共同沉淀;②黄铜矿病结构由交代作用形成;③含铜闪锌矿的出溶作用;④原来形成的黄铜矿斑点的重结晶作用。但是每个矿床中闪锌矿矿物的硫化物包裹体是否都由上述作用所形成,抑或是其中某种作用所致,则要根据具体研究对象作具体分析来加以判断。

鉴于国内尚无论述有关问题的文章问世,笔者据所研究的几个热液脉型铅-锌-银矿床(点)闪锌矿矿物中硫化物包裹体的特征,试图对这些包裹体的成因进行探讨研究。

1 样品制备及研究方法

闪锌矿矿物是所研究热液脉型铅-锌-银矿床中的主要工业矿物之一,为研究其中硫化物包裹体的特征,笔者选择有关矿床的代表性矿石磨制光片,在反光镜下观察研究,查明闪锌矿矿物中硫化物包裹体种类、大小、形态和分布状况以及矿石矿物组合与硫化物包裹体种类的关系。同时,用王水($3\text{HCl}+1\text{HNO}_3$)蒸气历时10~20秒,浸蚀闪锌矿矿物的结构,对浸蚀后的光片再进行反光镜下观察,旨在查明闪锌矿矿物结构和其所含硫化物包裹体与生长带、双晶、解理的关系。另外用JXA-8800R型电子探针对硫化物包裹体邻近的主矿物作成分分析,试图进一步了解硫化物包裹体与主矿物成分间的关系。电子探针分析条件:加速电压25 kV,束流 $2\times 10^{-9}\text{A}$;采用标样为闪锌矿、金银合金、黄铜矿和黄铁矿。

2 矿床的简要成矿特征

本研究的代表性样品分别采自河北省张北县蔡家营铅-锌-银矿床和崇礼县三道沟铅-锌-银矿点以及四川巴塘县夏寨银矿床和乡城县青达铅-锌-银矿点。有关这些矿床(点)的成因类型、赋矿围岩及控矿构造、矿石结构、主要矿石矿物组合和闪锌矿矿物含铁量等列于表1。

3 闪锌矿矿物中硫化物包裹体特征

(1)蔡家营铅-锌-银矿床:对其矿石光片镜下观察表明,常见硫化物的生成顺序基本上为毒砂→黄铁矿→磁黄铁矿→铁闪锌矿→含铁闪锌矿→毒砂→方铅矿→闪锌矿。铁闪锌矿和含铁闪锌矿中的硫化包裹体常见且发育。闪锌矿是闪锌矿矿物中最晚世代的矿物,其中几乎不含任何硫化物包裹体。

铁闪锌矿中的黄铜矿包裹体十分发育,包裹体大小(μm)为 $18\times 10\sim 2\times 2$ 或更小,形态有圆形、小长方形、三角形、长条状等,既呈稀疏的单个包裹体,也呈稠密浸染状产出。浸蚀表明,这些包裹体主要沿主矿物生长带呈不均匀分布,少数不规则长条状者分布在主矿物

生长带的界面处 (照片 1)。

表 1 矿床简要地质特征

Table 1. Geological characteristics of some ore deposits

矿床	赋矿围岩及控(容)矿构造	矿石结构	矿石矿物组合	闪锌矿矿物含铁量/%	资料来源
蔡家营热液脉型铅-锌-银矿床	古元古代红旗营子群角闪黑云斜长变粒岩和上侏罗统白旗组火山碎屑岩。矿脉受北东东向断裂带北侧次级的北西西向(为主)、南北向和北东向裂隙系统控制	交代残余、骸晶、压碎和乳滴状等结构常见	黄铁矿+铁闪锌矿+含铁闪锌矿+闪锌矿+方铅矿+毒砂+黄铜矿+白铁矿+磁黄铁矿+自然金+银金矿+自然银+深红银矿+黝锑银矿+脆银矿+螺状硫银矿等	铁闪锌矿 8.23 ~ 15.81 含铁闪锌矿 2.07 ~ 7.53 闪锌矿 1.21 ~ 1.62	黄典豪等, 1992 ^[1] ; 本文
三道沟热液脉型铅-锌-银矿点	古元古代红旗营子群角闪斜长变粒岩、黑云角闪斜长片麻岩和上侏罗统白旗组火山岩。矿脉受北西向断裂带控制	自形晶、交代残余、压碎和乳滴状等结构	方铅矿+黄铁矿+闪锌矿+含铁闪锌矿+铁闪锌矿+黄铜矿+自然金+含银黝铜矿等	铁闪锌矿 10.04 含铁闪锌矿 2.71 ~ 5.80 闪锌矿 0.54 ~ 1.38	黄典豪等, 1992 ^[1]
夏寨热液脉型银矿床	上三叠统图姆沟组变质砂岩、板岩。矿体(脉状、透镜状、似层状等)受北北西至近南北向断裂带控制	粒状、交代残余、骸晶、叶片状、包含、乳滴状、似文象等结构常见	方铅矿+铁闪锌矿+黄铁矿+黄铜矿+磁黄铁矿+毒砂+深红银矿+螺状硫银矿+银黝铜矿+黝锑银矿等	铁闪锌矿 8.60 ~ 13.89	胡世华等, 1996 ^① ; 本文
青达热液脉型铅-锌-银矿点	上三叠统喇嘛垭组粉砂质板岩夹薄层粉砂岩、杂砂岩夹层纹状粉砂质板岩。矿体呈脉状、透镜状, 受北西向断裂和裂隙控制	粒状、交代残余、乳滴状等结构	黄铁矿+铁闪锌矿+含铁闪锌矿+磁黄铁矿+方铅矿+黄铜矿等	铁闪锌矿 9.95 ~ 12.58 含铁闪锌矿 6.15 ~ 6.29	本文

①胡世华、陈才金, 1996, 川西义敦夏寨银矿及外围成矿特征、富集条件、找矿远景及靶区优选, 科研报告

铁闪锌矿中磁黄铁矿包裹体大小相差悬殊, 多为近浑圆状 ($4\mu\text{m} \times 4\mu\text{m}$)、不规则长条状 ($70\mu\text{m} \times 28\mu\text{m} \sim (12 \sim 5)\mu\text{m} \times (2 \sim 1)\mu\text{m}$)。主要是沿主矿物的多组解理或其粒间间隙呈点线状或在主矿物中呈星散状产出 (照片 2)。浸蚀表明, 在照片右下角, 不甚规则的粗大磁黄铁矿板条穿切主矿物颗粒界线, 说明其形成晚于主矿物。

含铁闪锌矿中的毒砂包裹体, 呈不规则粒状 ($5\mu\text{m} \times 4\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m} \times 6.5\mu\text{m}$) 或细脉 (宽 $2 \sim 5\mu\text{m}$), 沿主矿物的两组解理断续分布。毒砂细脉与主矿物的接触界线不平直, 且见其局部溶蚀后者的现象 (照片 3)。

(2) 三道沟铅-锌-银矿点: 矿石中常见的硫化物生成顺序为黄铁矿→铁闪锌矿→含铁闪锌矿→闪锌矿→黄铜矿→方铅矿。

镜下观察可见, 闪锌矿矿物普遍被黄铜矿溶蚀交代。有趣的是, 粗大黄铜矿交代含铁闪锌矿, 在邻近黄铜矿的含铁闪锌矿中, 微小浑圆状黄铜矿包裹体 ($1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$) 十分发育, 呈较稠密浸染状产出, 随着远离含铁闪锌矿与粗大黄铜矿的接触部位, 主矿物中黄铜矿包裹体数量大为减少 (照片 4)。

(3) 夏寨银矿床: 矿石光片的镜下观察表明, 常见的主要矿石矿物生成顺序大致为毒砂→磁黄铁矿→黄铁矿、毒砂→铁闪锌矿→黄铜矿→方铅矿→银硫盐矿物。粗大黄铜矿交代铁闪锌矿的现象屡见不鲜。

铁闪锌矿中常见到黄铜矿包裹体($5\mu\text{m}\times 4\mu\text{m}\sim 8\mu\text{m}\times 11.2\mu\text{m}$), 其多呈浑圆状、不规则粒状或长条状定向排列, 尤其是微细的浑圆状黄铜矿包裹体往往在穿切主矿物的黄铜矿细脉(宽 $4\sim 1\mu\text{m}$)或石英细脉(宽 $12\mu\text{m}$)的近脉两侧, 或它们的交错处, 呈密集浸染状分布, 远离这些细脉, 主矿物中的黄铜矿包裹体数量明显地减少(照片5、6), 这与上述照片4的情况相类似。

(4) 青达铅-锌-银矿点: 镜下观察表明, 常见的主要硫化物生成顺序为毒砂→铁闪锌矿→含铁闪锌矿→磁黄铁矿→黄铜矿→方铅矿。磁黄铁矿溶蚀铁闪锌矿以及黄铜矿溶蚀磁黄铁矿和铁闪锌矿的现象常见。

磁黄铁矿包裹体在含铁闪锌矿中十分发育, 其粒度差别甚大($40\mu\text{m}\times 70\mu\text{m}\sim 4\mu\text{m}\times 4\mu\text{m}$)。磁黄铁矿包裹体产出方式有: ①颗粒较大者, 形态不甚规则, 其包裹并溶蚀主矿物; ②呈细脉状(宽 $2.5\sim 1.6\mu\text{m}$)或点线状分布于主矿物的微裂缝或粒间间隙内, 有的细脉与①中一些粗粒磁黄铁矿呈藕断丝连关系; ③呈微小浑圆状($2\mu\text{m}\times 2.1\mu\text{m}$ 或更小)较稠密地产于主矿物中(照片7)。

照片8显示, 铁闪锌矿中共存有黄铜矿和磁黄铁矿两种包裹体。磁黄铁矿呈不规则粒状(μm ,下同)(30×30)和板条状(240×18), 黄铜矿呈浑圆状($7\times 6\sim 2\times 2$)、不规则粒状($55\times 40\sim 20\times 17$)和晶片状($180\times 65\sim 3\times 12$)。无论黄铜矿还是磁黄铁矿包裹体, 主要是沿主矿物的两组解理分布。同时, 当黄铜矿与磁黄铁矿共存于同一包裹体中时, 黄铜矿常溶蚀磁黄铁矿。

4 对闪锌矿矿物中硫化物包裹体成因的认识

鉴于所研究的闪锌矿矿物和其中硫化物包裹体都是含铁硫化物, 在上述研究包裹体大小、形态和产出方式的基础上, 选择不同产状包裹体邻近的主矿物作探针成分分析, 旨在了解硫化物包裹体的形成与主矿物的Fe、Cu含量之间的关系, 同时参阅已有的Cu-Fe-Zn-S四元系和Cu-Fe-S三元系的实验研究结果, 来综合分析闪锌矿矿物中硫化物包裹体的形成机制。

有关硫化物包裹体邻近的主矿物和磁黄铁矿包裹体(分析号8)的成分分析结果列于表2, 有关样品的电子探针分析点位置如照片1、2、4、6、7、8所示。由表2可见:

(1) 蔡家营铅-锌-银矿床的样品V-2(照片1)的分析结果表明, 无论在乳滴状黄铜矿密集带和稀疏带的边缘, 还是在密集带内, 铁闪锌矿的含铁量(除2号分析点为7.53%, 属含铁闪锌矿外)变化不大($8.5\%\sim 9.9\%$), 除5号点含微量铜(0.35%)外, 其余5个分析点均未检测出铜。同时, 这些浑圆形或卵形的黄铜矿包裹体比交代成因的黄铜矿病结构中包裹体大得多。据Kojima和Sugaki(1985)^[6]的Cu-Fe-Zn-S体系实验结果, 在温度 $500\sim 300\text{C}$ 时, 铜在闪锌矿中的溶解度极为有限(最大为2.4 mol%)。因此, 我们认为, 沿铁闪锌矿生长带如此大量发育的乳滴状黄铜矿包裹体, 既非黄铜矿交代作用, 也不是由含铜的铁闪锌矿固溶体出溶的产物, 而应是成矿热液中铁闪锌矿和黄铜矿同时达过饱和共同沉淀而形成的。该样品中少数较大的黄铜矿斑点, 可能是由圆形黄铜矿包裹体聚集重结晶作用所致。样品Ⅲ-2(照

片 2) 浸蚀表明, 其右下角粗大磁黄铁矿包裹体穿切铁闪锌矿颗粒, 其晚于铁闪锌矿形成无疑。对紧挨磁黄铁矿包裹体的铁闪锌矿分析表明, 铁含量稳定 (10.74%~11.18%), 故沿主矿物解理或微裂隙产出的点线状或浑圆状磁黄铁矿包裹体, 是含 Fe、S 溶液充填-交代所成。样品 Ch III-9 (照片 3) 中, 沿含铁闪锌矿两组解理分布的细脉状毒砂与主矿物的关系清楚表明, 其是充填-交代作用的产物。

表 2 硫化物包裹体附近闪锌矿和磁黄铁矿包裹体的电子探针分析 (%)

Table 2. Electron microprobe analyses of sphalerites near sulfide inclusions and pyrrhotite inclusions (in percentage)

矿床	分析号	Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	Ag	S	总和	备注
蔡家营铅-锌-银矿床	1	55.92	9.92	0.00	0.12	0.00	0.00	34.01	99.97	样品 V-2, 分析点位置如照片 1 所示
	2	58.67	7.53	0.00	0.19	0.00	0.00	33.43	99.82	
	3	56.87	9.03	0.00	0.21	0.00	0.00	33.58	99.69	
	4	57.78	8.45	0.00	0.16	0.00	0.00	33.52	99.91	
	5	56.73	9.20	0.35	0.18	0.00	0.00	33.47	99.93	
	6	57.63	8.39	0.00	0.16	0.00	0.00	33.70	99.88	
	1	55.73	10.74	0.00	0.02	0.09	0.00	33.12	99.70	样品 III-2, 分析点位置如照片 2 所示
	2	54.98	11.18	0.08	0.04	0.29	0.03	33.02	99.62	
	1	62.20	5.27	0.02	0.04	0.11	0.01	32.02	99.67	样品 S-90-9, 分析点位置如照片 4 所示
	2	61.85	5.33	0.00	0.03	0.20	0.00	32.10	99.51	
夏寨银矿床	1	51.97	13.59	0.00	0.00	0.44	0.00	34.19	100.19	样品 ZK005 III 5, 分析点位置如照片 6 所示
	2	51.76	13.05	0.27	0.00	0.45	0.00	34.24	99.77	
	3	51.74	13.89	0.24	0.11	0.36	0.00	34.09	100.43	
	4	51.56	13.75	0.00	0.00	0.56	0.00	34.31	99.62	
	5	51.84	13.77	0.00	0.00	0.00	0.00	34.32	99.93	
青达铅-锌-银矿点	1	60.31	6.29	0.32	0.06	0.23	0.00	32.37	99.58	样品 XQI-0', 分析点位置如照片 7 所示
	2	60.87	6.15	0.24	0.00	0.00	0.00	32.58	99.84	
	1	55.13	9.95	0.66	0.33	0.41	0.00	33.85	100.33	样品 XQ II-0, 分析点位置如照片 8 所示
	2	53.69	11.89	0.00	0.46	0.00	0.00	33.79	99.83	
	3	54.02	10.95	0.75	0.43	0.00	0.00	33.85	100.00	
	4	54.10	11.65	0.00	0.37	0.39	0.00	33.72	100.23	
	5	54.30	10.75	0.00	0.37	0.00	0.00	34.20	99.62	
	6	51.39	11.10	2.94	0.34	0.00	0.00	33.94	99.71	
	7	52.60	12.58	0.61	0.44	0.00	0.00	33.99	100.22	
	8	0.00	59.83	0.55	0.00	0.00	0.00	39.02	99.40	

注: 由中国地质科学院矿床地质研究所电子探针组陈克樵、余静分析

(2) 夏寨银矿床的样品 ZK005 III 5 (照片 5、6) 中的乳滴状黄铜矿包裹体在铁闪锌矿中的分布特征基本相同。对黄铜矿细脉两侧铁闪锌矿的 5 个点分析 (见照片 6) 表明, 其铁含量基本相同, 含铜量甚微 (0.00%~0.27%), 而且其含铜与否同分析点距黄铜矿细脉远近无关, 结合这些黄铜矿乳滴与贯入主矿物中黄铜矿细脉或石英细脉的密切关系, 可以认为它们是由含铜溶液在还原条件下形成黄铜矿细脉同时, 通过渗透-交代作用形成的。而三道沟铅-锌-银矿点的样品 S-90-9 (照片 4) 中, 邻近黄铜矿包裹体的含铁闪锌矿样分析表明, 其铁含量相同 (5.27%~5.33%), 铜含量极低 (0.00%~0.02%)。根据粗大黄铜矿交代含铁闪锌矿和微小

黄铜矿乳滴在接触部位稠密产出的特征，其成因无疑同样可用渗透-交代作用来解释。

(3) 青达铅-锌-银矿点的含铁闪锌矿(照片7)中形态不规则的粗粒磁黄铁矿溶蚀主矿物，沿主矿物解理成粒间分布的细脉状或点线状磁黄铁矿与粗粒磁黄铁矿的关系说明，这些产状的磁黄铁矿均为充填-交代成因。对含铁闪锌矿中磁黄铁矿乳滴稠密分布区的主矿物分析表明，其铁、铜含量分别为6.15%~6.29%和0.24%~0.32%，基本上无变化。因而可以认为，这种乳滴状磁黄铁矿具有粗粒和细脉状磁黄铁矿的同样成因。样品XQⅡ-0(照片8)中紧靠板条状磁黄铁矿的第2、3分析点的铁闪锌矿含铁、铜量分别为11.89%~10.95%和0.00%~0.75%，而紧挨黄铜矿晶片的第5、6分析点的铁闪锌矿含铁、铜量分别为10.75%~11.10%和0.00%~2.94%（第6点含铜高达2.94%，很可能与涉及到微小黄铜矿包裹体有关）。这样很难用铁闪锌矿的出溶作用来解释这两种包裹体的成因。据Cu-Fe-S体系中的相关关系，在400℃时，磁黄铁矿可以含1.0 mol% CuS，即磁黄铁矿板条在此温度自含铜闪锌矿出溶时，它应含有相当多的铜，并在冷却阶段，黄铜矿应出现在磁黄铁矿板条体内部^[5]，然而，镜下观察见磁黄铁矿出现在黄铜矿板条体的一端，并被黄铜矿溶蚀。同时，对磁黄铁矿板条的分析(表2中分析号8)表明，其含铜仅0.55%（相当于0.86 mol% CuS），故可以排除其是铁闪锌矿的出溶产物。因此，可以认为所研究样品中沿铁闪锌矿两组解理分布的黄铜矿和磁黄铁矿包裹体，应是含这两种矿物成分的溶液沿主矿物解理充填-交代而成，而且在含磁黄铁矿和黄铜矿的同一包裹体中，磁黄铁矿比黄铜矿稍早形成，这与矿石中常见磁黄铁矿和黄铜矿溶蚀交代铁闪锌矿，和磁黄铁矿被黄铜矿交代的现现象相吻合。

尚须指出的是，闪锌矿矿物中的硫化物包裹体种类与矿石矿物组合有很大关系。若矿石中富铁闪锌矿、磁黄铁矿、黄铜矿、毒砂发育时，则富铁闪锌矿中就会单独或同时出现这些矿物包裹体。在同一矿床中(如蔡家营)，晚期形成的含闪锌矿碳酸盐脉，矿物组合为闪锌矿+方解石，闪锌矿呈由闪锌矿和含铁闪锌矿相间组成的缬变环带结构，但其中未见任何硫化物包裹体。

5 结 论

(1) 在所研究的3个热液脉型铅-锌-银矿床(点)和1个热液脉型银矿床中，黄铜矿、磁黄铁矿和毒砂包裹体主要发育于富铁闪锌矿(铁闪锌矿和含铁闪锌矿)中。硫化物包裹体种类与矿石矿物组合密切相关。

(2) 对富铁闪锌矿中的包裹体特征研究表明：沿生长带发育的稠密浸染状黄铜矿包裹体是与主矿物共同沉淀的产物，其中较大的黄铜矿斑点是聚集重结晶作用所致。沿穿切其黄铜矿和(或)石英细脉两旁产出的乳滴状黄铜矿包裹体，和在受粗粒黄铜矿溶蚀的富铁闪锌矿近接触部位发育的乳滴状黄铜矿，乃是黄铜矿渗透-交代作用的结果。沿解理、裂隙、粒间和颗粒内部发育的不规则粒状、细脉状、点线状和乳滴状磁黄铁矿，是充填-交代作用的产物。沿解理分布的不规则细脉状毒砂是充填-交代的结果。

(3) 富铁闪锌矿解理中产出的晶片状黄铜矿和板条状磁黄铁矿，是由含这两种矿物成分的溶液充填-交代所成。而在磁黄铁矿和黄铜矿共存的同一包裹体内，磁黄铁矿常被黄铜矿溶蚀，故前者比后者稍早形成。

(4) 对黄铜矿和磁黄铁矿包裹体邻近的富铁闪锌矿电子探针分析表明, 其铁含量轻微变化和不含铜或含铜量极低, 进一步为这些包裹体的共同沉淀、渗透-交代或充填-交代成因提供了佐证。

参 考 文 献

- 1 黄典豪, 丁孝石, 吴澄宇等. 蔡家营铅-锌-银矿床. 北京: 地质出版社, 1992, 5~33、48~51、129~130.
- 2 Barton P B Jr. Some ore textures involving sphalerite from the Furutobe mine, Akita Prefecture, Japan. *Mining Geology*, 1978, 28: 293~300.
- 3 Barton P B Jr, Bethke P M. Chalcopyrite disease in sphalerite: Pathology and epidemiology. *American Mineralogist*, 1987, 72 (5~6): 451~467.
- 4 Bortnikov N S, Genkin A D, Dobrovol'skaya M G et al. The nature of chalcopyrite inclusions in sphalerite: Exsolution, coprecipitation, or "disease"? *Econ Geol.*, 1991, 86 (5): 1070~1082.
- 5 Mizuta T, Scott S D. Kinetics of iron depletion near pyrrhotite and chalcopyrite inclusions in sphalerite: The sphalerite speedometer. *Econ Geol.*, 1997, 92 (7~8): 772~783.
- 6 Kojima S, Sugaki A. Phase relations in the Cu-Fe-Zn-S system between 500 C and 300 C under hydrothermal conditions. *Econ Geol.*, 1985, 80 (1): 158~171.

照 片 说 明

1 铁闪锌矿 (Mar) 中沿生长带发育的乳滴状黄铜矿 (Cp) 包裹体, 其是与主矿物共同沉淀形成的。微细乳滴状黄铜矿中的粗大黄铜矿包裹体是重结晶的产物。照片中小圆圈及数字表示电子探针分析点位置及编号 (其它同)。蔡家营铅-锌-银矿床, V-2, 反光镜下, 单偏光 $\times 150$

2 铁闪锌矿 (Mar) 中沿多组解理或微裂隙产出的乳滴状或点线状磁黄铁矿 (Po) 包裹体。其和照片右下角穿越主矿物颗粒的粗粒磁黄铁矿同为含 FeS 溶液充填交代产物。蔡家营铅-锌-银矿床, III-2, 反光镜下, 单偏光 $\times 170$

3 含铁闪锌矿 (Fe-bearing Sp) 中沿两组解理分布的不规则细脉状毒砂 (Asp) 包裹体。毒砂包裹、溶蚀主矿物表明, 其为充填-交代作用产物。蔡家营铅-锌-银矿床, Ch III-9, 反光镜下, 单偏光 $\times 200$

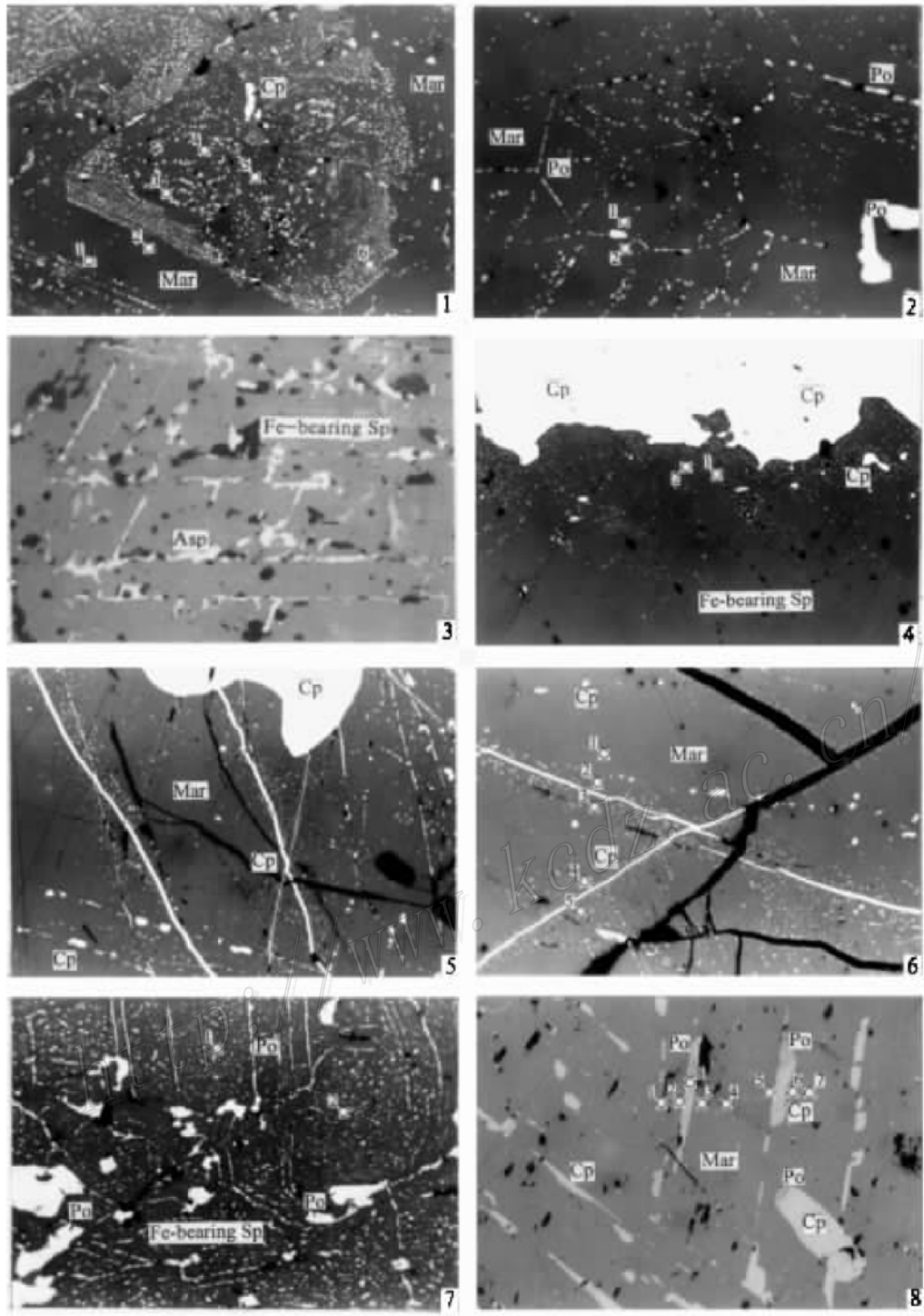
4 含铁闪锌矿 (Fe-bearing Sp) 被粗大黄铜矿 (Cp) 交代, 并在接触部位的含铁闪锌矿中发育渗透-交代形成的乳滴状黄铜矿包裹体, 远离接触部位, 这些包裹体大为减少。三道沟铅-锌-银矿床, S-90-9, 反光镜下, 单偏光 $\times 208$

5 铁闪锌矿 (Mar) 被黄铜矿 (Cp) 细脉穿切, 靠近黄铜矿细脉两侧, 乳滴状黄铜矿包裹体十分发育, 表明这些包裹体是与黄铜矿细脉形成同时的渗透-交代产物。夏寨银矿床, ZK005 III 5 反光镜下, 单偏光 $\times 225$

6 铁闪锌矿 (Mar) 中乳滴状黄铜矿 (Cp) 包裹体产出特征除与照片 5 的基本相同外, 在靠近石英 (黑色) 细脉两侧也很发育, 同样可用渗透-交代形成来解释。夏寨银矿床, ZK005 III 5, 反光镜下, 单偏光 $\times 200$

7 含铁闪锌矿 (Fe-bearing Sp) 中磁黄铁矿 (Po) 包裹体, 粗大不规则状者溶蚀主矿物, 呈细脉或点线状者多沿主矿物解理、裂隙或粒间间隙产出, 有的与粗粒磁黄铁矿有藕断丝连关系, 主矿物内有乳滴状磁黄铁矿包裹体。这些包裹体均是充填-交代作用产物。青达铅-锌-银矿点, XQI-0', 反光镜下, 单偏光 $\times 200$

8 铁闪锌矿 (Mar) 中沿两组解理分布的晶片状或乳滴状黄铜矿 (Cp) 和板条状磁黄铁矿 (Po) 包裹体。它们是含这两种矿物成分的溶液充填-交代而成。在照片右半部, 同一板条状包裹体中可见磁黄铁矿分布在黄铜矿包裹体一端, 并被黄铜矿溶蚀。青达铅-锌-银矿点, XQ II-0, 反光镜下, 单偏光 $\times 96$



GENESIS OF SULFIDE INCLUSIONS IN IRON-RICH SPHALERITE FROM HYDROTHERMAL VEIN-TYPE LEAD-ZINC-SILVER DEPOSITS

Huang Dianhao

(*Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037*)

Key words: Pb-Zn-Ag deposit, iron-rich sphalerite, features of sulfide inclusions, genesis

Abstract

Sphalerite from Pb-Zn deposits of various genetic types often contains sulfide inclusions that occur in different forms of intergrowths. The study of the genesis of sulfide inclusions is of great significance to the understanding of the crystallization sequence of ore minerals and the ore-forming process. According to the features of sulfide inclusions in sphalerite and the electron microprobe analyses of sphalerites near inclusions from three hydrothermal vein-type Pb-Zn-Ag deposits (Caijiaying, Sandaogou and Qingda) and one Ag deposit (Xiazhai), the author comes to the conclusion that iron-rich sphalerite (host mineral) has a large number of sulfide inclusions; the emulsion drop-like chalcopyrites densely existent along the growth zones of host minerals were formed by coprecipitation of chalcopyrite and iron-rich sphalerite, while the coarser chalcopyrite inclusions in the emulsion drop-like chalcopyrites are recrystallization products. The emulsion drop-like chalcopyrites along both sides of chalcopyrite or quartz veinlets cutting host minerals and those near the contact of iron-rich sphalerite corroded by coarse chalcopyrite are considered to be products of permeation and replacement by cupreous solution. A great variety of pyrrhotites distributed in cleavages (cracks), intergrains or grains of host minerals were formed by filling-metasomatism. Arsenopyrite veinlets in cleavages of host minerals belong to filling-replacement product. The lamellar or emulsion drop-like chalcopyrites and pyrrhotite laths distributed in cleavages of host minerals resulted from filling-metasomatism of the solution that contained the two sorts of mineral components, and when pyrrhotite and chalcopyrite coexisted in the same lath-like inclusion, the former was corroded by chalcopyrite. At the same time, the varieties of sulfide inclusions of iron-rich sphalerite are intimately related to ore mineral assemblages of the studied ore deposits.