

文章编号: 0258-7106 (2000) 04-0363-13

夏塞银多金属矿床中硫化物和硫盐系列 矿物特征及其意义

黄典豪

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

胡世华

(四川地质矿产勘查开发局地质矿产研究所, 成都 610081)

提 要: 夏塞矿床是大型的热液脉型银多金属矿床。通过对大量矿石光(薄)片观察和电子探针分析表明, 除主要(方铅矿、富铁闪锌矿)和次要(黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿、黄铜矿等)硫化物外, 硫盐系列矿物十分发育, 主要有 Cu-Sb-Ag 硫盐(黝铜矿、含银黝铜矿和银黝铜矿)、Sb-Ag 硫盐(深红银矿、辉锑银矿)、Pb-Sb 硫盐(脆硫锑铅矿、硫锑铅矿)和 Bi-Pb 硫盐(斜方辉铋铅矿)。此外, 尚有少(微)量黄锡矿、锡石、自然铋和银金矿等。银的硫盐矿物和硫化物(辉银矿)乃是获得银的主要工业矿物。这些硫盐系列矿物常与硫化物伴生, 多沿方铅矿、富铁闪锌矿、黄铁矿等的解理、裂隙或粒间产出。这些研究结果不仅有助于了解矿化作用过程, 而且为矿床评价、组分综合利用和选冶提供重要依据。

关键词: 夏塞银多金属矿床 硫化物 硫盐矿物 川西

中图法分类号: P618

文献标识码: A

1 矿床简要地质特征

夏塞银多金属矿床构造上属义敦岛弧带, 位于紧邻该岛弧主弧带的西缘。矿区内出露地层主要是浅海陆棚沉积的上三叠统图姆沟组, 其呈北北西向展布, 由石英杂砂岩、板岩组成, 间夹有结晶灰岩和中酸性火山碎屑岩。该组地层为本矿床的容矿岩层。在矿区南约 2 km 处, 裸露的绒依措花岗岩体(主体为似斑状二长花岗岩, 其全岩 K-Ar 同位素年龄为 82.6×10^6 a[●]) 总体呈北西西向分布。在矿区的南西侧, 可见该岩体北界向北倾伏于容矿围岩之下。根据似斑状二长花岗岩的副矿物组合(锡石+黄铁矿+方铅矿+毒砂等)与本矿床中矿石矿物的相似性, 可以判断二者有成因上的密切联系。

本矿床的矿体多呈脉状、透镜状和囊状, 主要受切割图姆组地层的北北西向和近南北向两组断裂及其交错部位控制。

成矿期间的热液活动致使近矿围岩产生明显的线型蚀变, 其主要有硅化、绢云母化、绿

基金项目: 本研究得到“九五”国家重点项目的资助

第一作者简介: 黄典豪(1937-), 男, 广西博白人, 研究员, 长期从事矿床地质及地球化学研究

收稿日期: 2000-03-26; 修订日期: 2000-06-10

● 据四川地勘局区调队资料

泥石化、阳起石-绿帘石化和碳酸盐化。这些蚀变作用往往叠加在一起,但有时近脉蚀变呈现出硅化→绢云母化→碳酸盐化的分带现象。这些热液蚀变中以绢云母化、绿帘石化和阳起石化与矿化关系最为密切。

2 矿石物质成分及结构构造

本矿床矿石有原生矿石(为主)和次生矿石(次要)。据主要矿石矿物和有用组分相对含量,原生矿石可分为:①富银铅锌矿石,矿物组合为方铅矿+富铁闪锌矿+黄铁矿+毒砂+银硫盐矿物(和银硫化物)+铅-铋硫盐矿物+黄锡矿等。其含Ag量通常为几百克/吨至几千克/吨,Pb>20%,最高可达70%,Zn/Pb值为0.12~0.16;②银锌铅铜锡矿石,矿物组合为富铁闪锌矿+方铅矿+黄铜矿+磁黄铁矿+银硫盐矿物+黄锡矿+锡石等。其含Ag $40.40 \times 10^{-6} \sim 808 \times 10^{-6}$, Zn 1.35%~20%, Pb 1.1%~16.7%, Cu 0.96%~1.86%。次生矿石见于地表氧化带,规模不大,矿物组合为褐铁矿+针铁矿+白铅矿+铅矾+菱锌矿+孔雀石等。一些样品含Ag $35 \times 10^{-6} \sim 985 \times 10^{-6}$, Pb 0.36%~18.20%。

脉石矿物有石英、方解石、绿泥石、绢云母、阳起石、绿帘石、斜长石等。

矿石多呈自形—半自形粒状结构、骸晶结构、交残结构、交代乳滴状结构、叶片状结构、交代似文象结构、压碎结构等。矿石构造主要是块状、斑杂状、条带状和角砾状等。

3 硫化物矿物特征

本矿床中具工业意义的硫化物主要是方铅矿、富铁闪锌矿、黄铜矿、黄锡矿和辉银矿。

(1) 方铅矿:多呈半自形—自形晶体,粒度大小不一,常形成块状或团块状集合体。反射色纯白,均质体。方铅矿除常包裹或溶蚀毒砂、富铁闪锌矿、黄铁矿和磁黄铁矿外,尚可见其溶蚀石英和黄锡矿。表1表明,方铅矿单矿物含Ag 0.25%~0.48%, Sb 0.16%~0.55%, Fe $50 \times 10^{-6} \sim 944 \times 10^{-6}$, Cu $20 \times 10^{-6} \sim 253 \times 10^{-6}$, Zn $38 \times 10^{-6} \sim 4300 \times 10^{-6}$, Mn $1.6 \times 10^{-6} \sim 6.6 \times 10^{-6}$, Bi $10 \times 10^{-6} \sim 700 \times 10^{-6}$, As $3 \times 10^{-6} \sim 69 \times 10^{-6}$, Se $86.7 \times 10^{-6} \sim 244 \times 10^{-6}$ 。需指出的是,它所含的Ag、Sb、Fe、Cu、Zn、As主要是由其所包含的微小银硫盐矿物所引起的,抑或部分Sb、Bi可能是其中的Pb-Sb硫盐矿物所为,这为镜下观察所佐证。有意义的是,方铅矿的解理或微裂隙中往往产出有银硫盐矿物(见下述),反映出二者的密切伴生关系。电子探针分析(表2)表明,方铅矿除主成分Pb、S外,尚含有微量Ag(0.05%~0.18%)、Cu、Zn、Fe、Co、Ni等杂质元素。

(2) 富铁闪锌矿:不及方铅矿发育且分布不均匀。其呈红褐或黑色,反射色灰带棕,内反射深红色,均质体。它产出方式有:①呈半自形—自形晶体组成块状或小团块状集合体;②常与毒砂、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、硫铋铅矿等伴生,其通常溶蚀毒砂、黄铁矿,但多为黄铜矿、方铅矿、硫铋铅矿、黄锡矿等溶蚀交代;③充填于脉石绿泥石的解理内。表2表明:第一,该矿物含Fe 10.74%~13.61%。先前,国内学者常将含铁量 $\geq 8\%$ 的闪锌矿称为铁闪锌矿^[1-3],但据E H Nickel和J D Grice的意见^[4]，“铁闪锌矿”(Zn, Fe)S与闪锌矿(ZnS)均为等轴晶系,空间群相同,晶胞参数类似,而且二者的阳离子结构位置均主要为Zn

占据, 故“铁闪锌矿”名称应废弃, 宜将其定为闪锌矿的含铁变种——富铁闪锌矿; 第二, 富铁闪锌矿除主要阳离子 Zn 外, 常含有 Fe、Cd、Mn、Cu, 可见其实质上是一种上述元素硫化物的固溶体矿物; 第三, 富铁闪锌矿所含 Cd ($900 \times 10^{-6} \sim 3600 \times 10^{-6}$) 具有综合利用价值。

表 1 方铅矿单矿物成分分析结果

Table 1. Analyses of individual galena from the ore deposit

元素 样号	%				10^{-6}							
	Pb	Ag	Sb	S	Fe	Mn	Cu	Zn	Bi	Ga	Se	As
YM 4b4	83.33	0.45	0.40	12.97	< 50	1.6	34	158	16	< 1	97.6	3
YM 4b5	83.33	0.48	0.47	12.96	< 50	2.5	37	117	12	< 1	86.7	13
YM 4b6	83.33	0.47	0.55	13.52	944	6.3	72	4300	10	< 1	126	7
YM 80b7	82.76	0.37	0.29	12.42	141	5.2	38	300	230	< 1	453	69
YM ₁ 补 2	82.76	0.45	0.41	12.83	< 50	1.7	20	38	21	< 1	93.5	4
CM 3b3	82.76	0.25	0.16	12.83	613	6.6	253	1990	700	< 1	244	< 3

注: 由国家地质实验测试中心程良策分析; 分析方法: Zn、Pb 为 EDTA 容量法, Fe、Mn、Cu 为等离子光谱, Ga 为等离子质谱, As、Sb、Bi、Se 为原子荧光, Ag 为原子吸收, S 为重量法

(3) 黄铜矿: 多呈他形粒状集合体, 常溶蚀富铁闪锌矿、毒砂等。有的黄铜矿呈细脉状穿插富铁闪锌矿, 在该细脉两侧, 渗透交代形成的黄铜矿乳滴十分发育, 致使富铁闪锌矿呈乳滴状结构^[5]。表 2 表明, 黄铜矿含有微量 Pb、Zn、Sb、Bi、Ag、Co、Ni 等杂质元素。

(4) 黄锡矿: 呈他形粒状集合体, 粒度 (mm): $0.10 \times 0.20 \sim 0.09 \times 0.46$ 。反射色灰黄棕, 反射多色性淡蓝灰—棕灰, 非均质性清楚。它多与锡石、毒砂、富铁闪锌矿、脆硫锑铅矿、方铅矿等伴生。黄锡矿沿毒砂的裂隙产出并包裹、溶蚀毒砂 (照片 1), 亦可见黄锡矿被脆硫锑铅矿叶片状集合体溶蚀交代 (照片 2)。表 2 表明, 黄锡矿含 Cu 29.73% ~ 31.94% (平均为 31.0%), Sn 27.26% ~ 29.73% (平均为 28.25%), Fe 6.95% ~ 12.38% (平均为 9.52%), Ag 低于检测限至 0.22% (平均约为 0.1%), S 28.86% ~ 31.10% (平均为 30.40%)。

(5) 辉银矿: 呈不规则细小粒状。反射色灰白带绿, 无双反射和内反射, 均质体。镜下可见其多沿方铅矿的解理或微裂隙产出。辉银矿成分见表 2, 它是本矿床中含 Ag (87.01%) 最高的银矿物。

4 硫酸盐系列矿物特征

本矿床矿石物质成分研究表明, 其硫酸盐矿物十分发育, 既有主要的 Cu-Sb-Ag 和 Sb-Ag 硫酸盐矿物, 也发育有 Pb-Sb、Bi-Pb 硫酸盐矿物。

4.1 Cu-Sb-Ag 硫酸盐矿物

其实质上属黝铜矿族成员范畴。有关黝铜矿族矿物的国内外研究现状和存在问题, 黄典豪曾作过简要评述^[6]。鉴于黝铜矿族矿物呈反射色微带棕或橄榄黄棕, 无反射多色性, 均质体, 仅据光性特征难以鉴别其含银量多寡和有关矿物种及变种的名称。现据黄典豪^[6]的看法, 将本矿床的 Cu-Sb-Ag 硫酸盐矿物分别称为黝铜矿、含银黝铜矿和银黝铜矿。这些矿物多呈他形粒状集合体, 普遍产于方铅矿的粒间或裂隙内 (照片 3、4), 说明它们晚于方铅矿而形成。由表 3

表2 主要硫化物的电子探针分析结果(%)

Table 2. Microprobe analyses of main sulfides from the deposit(%)

样号	矿物	Cu	Pb	Zn	Fe	Mn	Cd	Ag	Sb	Sn	Co	Ni	S	总和	化学分子式
Ⅱ7	方铅矿	0.34	87.07	—	—	—	—	0.18	—	—	—	—	12.71	100.30	$(\text{Pb}_{1.06}\text{Cu}_{0.01})_{1.07}\text{S}$
Ⅱ	方铅矿	0.05	86.84	0.02	0.11	—	—	0.11	0.09	—	0.04	0.02	13.01	100.29	$\text{Pb}_{1.03}\text{S}$
D12b2	方铅矿	0.07	86.82	0.06	0.11	—	—	0.05	—	—	0.04	0.01	13.10	100.26	$\text{Pb}_{1.03}\text{S}$
Ⅱ-2-3 ^①	富铁闪锌矿	—	—	55.73	10.74	0.02	0.09	—	—	—	—	—	33.12	99.70	$(\text{Zn}_{0.82}\text{Fe}_{0.19})_{1.01}\text{S}$
Ⅱ-2-4 ^①	富铁闪锌矿	0.08	—	54.98	11.18	0.04	0.29	0.03	—	—	—	—	33.02	99.62	$(\text{Zn}_{0.82}\text{Fe}_{0.19})_{1.01}\text{S}$
ZK005 Ⅱ5 ^①	富铁闪锌矿	0.10	—	51.77	13.61	0.02	0.36	—	—	—	—	—	34.23	100.09	$(\text{Zn}_{0.74}\text{Fe}_{0.23})_{0.97}\text{S}$
G2	黄铜矿	34.73	—	—	29.10	—	—	—	—	—	—	—	36.06	99.89	$\text{Cu}_{0.97}\text{Fe}_{0.93}\text{S}_2$
YM5b	黄铜矿	35.79	0.08	0.11	29.16	—	—	0.09	0.12	0.18(Bi)	0.04	0.04	36.60	102.21	$\text{Cu}_{1.04}\text{Fe}_{0.97}\text{S}_2$
X-5-1-5 ^①	磁黄铁矿	—	—	—	59.89	—	—	—	—	—	—	—	39.14	99.03	$\text{Fe}_{0.88}\text{S}$
Tc42-4	磁黄铁矿	—	—	—	58.80	—	—	—	—	—	—	—	42.15	100.95	$\text{Fe}_{0.79}\text{S}$
ZK005 Ⅱ-20 ^①	黄锡矿	31.33	—	—	10.06	—	—	—	—	27.26	—	—	30.75	99.40	$\text{Cu}_{2.00}\text{Sn}_{0.98}(\text{Fe}_{0.75}\text{Cu}_{0.06})_{0.81}\text{S}_4$
TC31b2-21 ^①	黄锡矿	30.53	—	—	10.55	—	—	0.14	—	27.45	—	—	30.77	99.44	$\text{Cu}_{2.00}\text{Sn}_{0.96}\text{Fe}_{0.79}\text{S}_4$
Tc31b1-2 ^①	黄锡矿	30.78	—	—	9.12	—	—	0.22	—	28.12	—	—	31.10	99.34	$\text{Cu}_{2.00}\text{Sn}_{0.88}(\text{Fe}_{0.67}\text{Ag}_{0.01})_{0.68}\text{S}_4$
CM3b3-14 ^①	黄锡矿	31.68	—	—	8.90	—	—	—	—	28.78	—	—	30.35	99.71	$\text{Cu}_{2.00}\text{Sn}_{1.02}(\text{Fe}_{0.67}\text{Cu}_{0.11})_{0.76}\text{S}_4$
YM ₁ 补1-13 ^①	黄锡矿	31.94	—	—	6.95	—	—	—	—	29.73	—	—	30.59	99.21	$\text{Cu}_{2.00}\text{Sn}_{1.00}(\text{Fe}_{0.52}\text{Cu}_{0.11}\text{Sn}_{0.05})_{0.68}\text{S}_4$
YM4b6	黄锡矿	29.73	—	—	12.38	—	—	0.22	0.08	28.17	—	—	28.86	99.44	$\text{Cu}_{2.00}\text{Sn}_{1.05}(\text{Fe}_{0.98}\text{Cu}_{0.06}\text{Ag}_{0.01})_{1.07}\text{S}_4$
Tc42-4	辉银矿	—	—	—	—	—	—	87.01	—	—	—	—	12.33	99.34	$\text{Ag}_{2.10}\text{S}$

① 样品由中国地质科学院矿床地质研究所电子探针组余静、陈克雄分析,其余样品由成都理工大学电子探针实验室分析,“—”表示低于检测限,以下表3和表4同此

表 3 银硫酸盐矿物的电子探针分析结果 (%)
Table 3. Microprobe analyses of silver sulphosalts from the deposit (%)

样号	硫酸盐系列	矿物	Ag	Cu	Pb	Fe	Zn	Bi	Sb	As	S	总和	化学分子式
YM5b		黝铜矿	4.23	36.25	0.14	5.45	1.30	—	26.97	0.21	24.90	99.46	$(Cu_{5.34}Ag_{0.66})_{6.00}[Cu_{4.21}(Fe_{1.64}Zn_{0.33})_{1.97}]_{8.18}(Sb_{0.71}As_{0.05})_{3.76}S_{13}$
Ⅱ 3-1		含银黝铜矿	17.16	26.58	—	5.70	0.93	—	27.14	0.29	23.17	100.97	$(Cu_{3.24}Ag_{2.88})_{6.10}[Cu_{4.28}(Fe_{1.84}Zn_{0.25})_{2.09}]_{6.37}(Sb_{0.09}As_{0.07})_{4.07}S_{13}$
Ⅱ 3-2		含银黝铜矿	17.88	26.28	—	5.66	0.88	—	27.00	0.10	22.78	100.58	$(Cu_{3.27}Ag_{3.03})_{6.30}[Cu_{4.30}(Fe_{1.85}Zn_{0.25})_{2.10}]_{6.40}(Sb_{0.04}As_{0.02})_{4.08}S_{13}$
Ⅱ 7-1		含银黝铜矿	19.98	23.30	—	6.90	—	—	27.16	—	22.62	99.96	$(Ag_{3.41}Cu_{2.76})_{6.16}[Cu_{4.00}Fe_{2.27}]_{6.27}Sb_{4.11}S_{13}$
G2(2)	Cu-Sb-	含银黝铜矿	23.70	19.53	—	5.21	0.60	—	26.13	0.88	23.50	99.55	$(Ag_{3.99}Cu_{1.50})_{5.40}[Cu_{3.95}(Fe_{1.65}Zn_{0.16})_{1.81}]_{5.76}(Sb_{3.81}As_{0.21})_{4.02}S_{13}$
G31A	Ag	含银黝铜矿	25.87	18.69	—	5.37	0.70	—	26.49	—	22.08	99.20	$(Ag_{4.82}Cu_{1.85})_{6.67}[Cu_{4.00}(Fe_{1.81}Zn_{0.20})_{2.01}]_{6.01}Sb_{2.16}S_{13}$
YM4 19		含银黝铜矿	26.01	18.59	—	5.58	1.73	—	24.66	—	23.03	99.60	$(Ag_{4.36}Cu_{1.64})_{6.00}[Cu_{3.66}(Fe_{1.81}Zn_{0.48})_{2.29}]_{5.95}Sb_{3.64}S_{13}$
G1-(2)		含银黝铜矿	26.26	18.80	—	5.26	—	—	27.25	—	23.00	100.57	$(Ag_{4.41}Cu_{1.36})_{5.77}[Cu_{4.00}Fe_{1.71}]_{5.71}Sb_{4.06}S_{13}$
G2-1		银黝铜矿	30.79	15.70	—	5.38	—	—	27.04	—	22.21	101.12	$(Ag_{5.35}Cu_{0.65})_{6.00}[Cu_{3.99}Fe_{1.81}]_{5.80}Sb_{4.17}S_{13}$
YM4b-5-2-9 ^①		银黝铜矿	32.69	13.23	—	5.25	—	—	25.70	0.34	22.38	99.59	$Ag_{5.84}[Cu_{3.88}Fe_{1.75}]_{5.63}(Sb_{3.95}As_{0.08})_{4.01}S_{13}$
YM ₁ 补 2-7 ^①		银黝铜矿	33.22	13.59	—	3.28	0.99	0.03	25.81	0.10	22.20	99.22	$(Ag_{5.78}Cu_{0.22})_{5.80}[Cu_{4.00}(Fe_{1.10}Zn_{0.23})_{1.35}]_{5.35}(Sb_{3.98}As_{0.02})_{4.05}S_{13}$
YM80b-7-11 ^①		深红银矿	59.76	0.04	—	0.01	—	—	21.64	0.37	17.84	99.66	$Ag_2.95(Sb_{0.98}As_{0.02})_{0.99}S_3$
YM4b6-1-8 ^①		深红银矿	59.74	—	—	0.05	—	0.05	21.78	0.31	18.15	100.08	$Ag_2.94(Sb_{0.95}As_{0.02})_{0.97}S_3$
CM3b2-1		深红银矿	59.36	0.16	0.27	0.04	0.08	0.23	22.20	0.26	17.50	100.10	$Ag_3.02(Sb_{1.06}As_{0.02})_{1.02}S_3$
ZK001-b13		深红银矿	59.10	0.05	0.06	0.25	0.12	0.28	22.18	0.38	17.36	99.78	$Ag_3.04(Sb_{1.01}As_{0.03}Fe_{0.01}Zn_{0.01})_{1.06}S_3$
CM3-22		深红银矿	59.15	—	—	—	—	—	21.73	—	19.00	99.88	$Ag_2.76Sb_{0.90}S_3$
858905 ^②		深红银矿	61.57	0.34	0.31	0.08	0.09	0.08	20.55	0.07	16.89	99.98	$(Ag_{3.25}Pb_{0.01})_{3.26}(Sb_{0.96}Cu_{0.03}Fe_{0.01}Zn_{0.01})_{1.01}S_3$
858905 ^②	Sb-Ag	深红银矿	60.65	0.05	1.00	0.17	0.66	0.13	21.14	—	16.58	100.38	$(Ag_{3.26}Pb_{0.03})_{3.29}(Sb_{1.01}Zn_{0.06}Fe_{0.02})_{1.09}S_3$
85889 ^②		深红银矿	60.08	0.36	0.05	0.19	0.01	0.24	21.55	0.25	17.27	100.00	$Ag_{3.10}(Sb_{0.96}Cu_{0.03}As_{0.02}Fe_{0.02}Bi_{0.01})_{1.07}S_3$
85889 ^②		深红银矿	58.09	1.25	0.58	0.93	—	—	21.54	—	17.65	100.04	$(Ag_{2.98}Pb_{0.01})_{2.94}(Sb_{0.99}Cu_{0.11}Fe_{0.09})_{1.16}S_3$
Ch Ⅱ-118 ^②		深红银矿	58.92	0.15	—	0.03	0.12	—	22.72	0.51	16.91	99.36	$Ag_{3.11}(Sb_{1.07}As_{0.04}Cu_{0.01}Zn_{0.01})_{1.10}S_3$
YM4b6		辉砷银矿	38.24	—	—	0.10	—	—	39.63	0.12	21.13	99.22	$Ag_{1.07}(Sb_{0.98}As_{0.01})_{1.06}S_2$
85895-5 ^②		辉砷银矿	36.40	0.22	0.17	0.24	0.05	—	40.58	—	22.18	99.84	$Ag_{2.97}(Sb_{0.98}Fe_{0.01}Cu_{0.01})_{1.00}S_2$
85895-6 ^②		辉砷银矿	37.74	0.03	—	0.11	0.69	—	39.96	0.01	21.51	100.05	$Ag_{1.04}(Sb_{0.95}Zn_{0.05}Fe_{0.01})_{1.02}S_2$

① 同表 2; ② 样品引自李锡林等, 1994, 第 145、147 页; ③ 样品引自黄典豪等, 1991^[2]

可见,本矿床的Cu-Sb-Ag 硫盐矿物:①除个别为黝铜矿(含Ag 4.23%)外,主要是含银黝铜矿和银黝铜矿;②含银黝铜矿含Ag 17.16%~26.26%(平均为22.41%),Cu 18.59%~26.59%(平均为21.68%),Sb 24.66%~27.25%(平均为26.55%),As 低于检测限至0.88%(平均约为0.18%),Fe 5.21%~6.90%(平均为5.67%),Zn 低于检测限至1.73%(平均约为0.69%),S 22.08%~23.50%(平均为22.88%)。银黝铜矿含Ag 30.79%~33.22%(平均为32.23%),Cu 13.23%~15.70%(平均为14.17%),Sb 25.70%~27.04%(平均为26.18%),As 低于检测限至0.34%(平均约为0.15%),Fe 3.28%~5.38%(平均为4.64%),Zn 低于检测限至0.99%(平均约为0.33%),S 22.20%~22.38%(平均为22.26%)。说明所研究矿物化学成分以相对富含Ag、Cu、Sb、Fe,贫含Zn、As为特征。从黝铜矿→含银黝铜矿→银黝铜矿:含Ag量由低(4.23%)→中(22.41%)→高(32.23%),含Cu量由高(36.25%)→中(21.68%)→低(14.17%)。反映出该Cu-Sb-Ag矿物结构分子式中三角面位置的Ag与所取代的Cu呈反消长关系,而其含Fe、Zn量相对较低且变化较小,所以其四面体位置中的Cu含量也较稳定。其Sb含量变化不大,乃是由可取代半金属位置中Sb的As、Bi含量甚微所致。有关所研究矿物主成分的相互关系可用以下图解来表示。Ag-Cu-(Fe+Zn)图解(图1)表明,在该硫盐矿物中,三角面和四面体金属原子数为12的情况下,Cu、Ag可被2价元素置换,这排除每个分子式单位中填隙(Cu、Ag)超过12个原子。投绘点呈明显线性排列,证明从黝铜矿→含银黝铜矿→银黝铜矿,Ag与Cu呈负相关,而Fe+Zn的原子数却很稳定(在17%左右),说明所述Cu-Sb-Ag硫盐矿物含银量高低与(Fe+Zn)原子百分数无关。Ag对Sb/(Sb+As)直角坐标图(图2)表明,本矿床中Cu-Sb-Ag

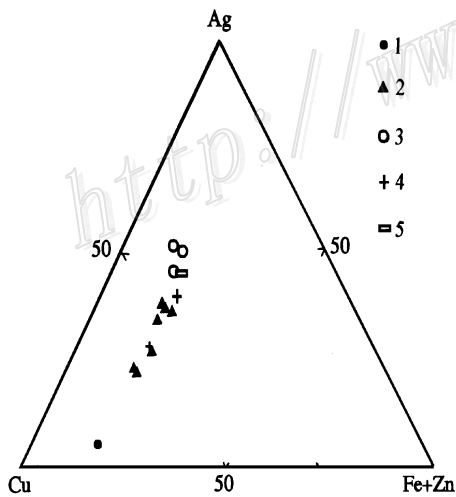


图1 夏塞矿床铜-锑-银硫盐矿物的Cu-Ag-(Fe+Zn)成分投绘图(按原子比)

夏塞矿床: 1—黝铜矿; 2—含银黝铜矿; 3—银黝铜矿。
蔡家营矿床: 4—含银黝铜矿; 5—银黝铜矿

Fig. 1. Compositional plot of Cu-Ag-(Fe+Zn) in Cu-Sb-Ag sulphosalts from the Xiasai deposit (In atomic proportions).

The Xiasai ore deposit: 1—Tetrahedrite; 2—Silver-bearing tetrahedrite; 3—freibergite. The Caijiaying ore deposit: 4—Silver-bearing tetrahedrite; 5—freibergite.

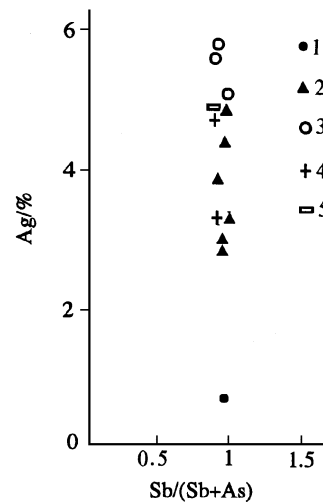


图2 夏塞矿床铜-锑-银硫盐矿物的Ag对Sb/(Sb+As)成分投绘图(原子比按(Sb+As)=4.0) 图例同图1

Fig. 2. Compositional plot of Ag versus Sb/(Sb+As) for Cu-Sb-Ag sulphosalts from the Xiasai deposit [atomic proportions based on (Sb+As) = 4.0] (Symbols as for Fig. 1)

硫盐矿物的投绘点在 $Sb/(Sb+As)$ 值 ≈ 1 且平行于 Ag 纵坐标的线上, 反映出这些矿物的 Ag 含量高低与 $Sb/(Sb+As)$ 值无关。

4.2 Sb-Ag 硫盐矿物

本矿床的 $Sb-Ag$ 硫盐矿物有深红银矿和辉锑银矿, 以前者较为常见。

(1) 深红银矿: 呈不规则粒状, 粒度 (mm): $0.06 \times 0.15 \sim 0.08 \times 0.05$ 。反射色带浅蓝的灰白色, 反射多色性清楚, 以较亮变化到较暗, 非均质性明显, 淡灰至深灰。其主要沿方铅矿的裂隙或粒间间隙产出 (照片 5)。表 3 表明, 深红银矿含 Ag 59.10% ~ 59.76% (平均为 59.42%), Sb 21.64% ~ 22.20% (平均为 21.91%), As 低于检测限至 0.38% (平均约为 0.26%), S 17.36% ~ 19.00% (平均为 17.97%), 此外含微量 Fe 、 Cu 、 Pb 、 Zn 、 Bi 等。其 Ag 、 Sb 含量变化比大厂矿田深红银矿的稍小, 但 S 含量变化则比后者的大些。本矿床矿石中未见到淡红银矿, 这主要是由于矿石中先形成的毒砂消耗了大量砷, 相对富含 Ag 、 Cu 、 Sb 、 Fe 、 Zn 、 S 等的成矿溶液, 在形成相对晚世代的所述 $Cu-Sb-Ag$ 和 $Sb-Ag$ 硫盐矿物时, 仅有微量 As 参与它们的成分, 说明此时 As 浓度很低, 故不能形成淡红银矿。

(2) 辉锑银矿: 呈他形粒状, 粒度 (mm) 0.02~ 0.2。反射色白带蓝或灰白带蓝绿色调, 非均质性明显。其充填于富铁闪锌矿或方铅矿的粒间, 并包裹有微细的银金矿颗粒。其化学成分与大厂矿田所产辉锑银矿的十分接近 (见表 3)。

本矿床和大厂矿田所产出的 $Sb-Ag$ 硫盐矿物中, 深红银矿的 Ag 含量 (58.09% ~ 61.57%) 比辉锑银矿的 (36.02% ~ 38.24%) 高得多, 而前者的 Sb 含量 (20.55% ~ 22.20%) 比后者的 (39.63% ~ 40.58%) 低近 1 倍。 $Ag-(Sb+As)-(Fe+Cu+Zn)$ 图解 (图 3) 表明, 深红银矿的 Ag 、 Sb 原子百分数分别为 71% ~ 76%、22.5% ~ 24.5%, 辉锑银矿的 Ag 、 Sb 原子百分数分别为 48% ~ 52% 和 47% ~ 49%, 而它们的 $(Fe+Cu+Zn)$ 原子百分数均小于 5%。这反映出所述深红银矿和辉锑银矿的成分特征。

4.3 Pb-Sb 硫盐矿物

本矿床中所见的主要是脆硫锑铅矿和硫锑铅矿。

(1) 脆硫锑铅矿: 多呈他形粒状或片状集合体, 粒度 (mm): $0.02 \times 0.04 \sim 0.03 \times 0.14$ 。反射色灰带蓝色色调, 反射多色性灰棕—灰蓝, 非均质性强。其溶蚀富铁闪锌矿、方铅矿, 有的分布于黄铁矿粒间并溶蚀黄铁矿。同时见到脆硫

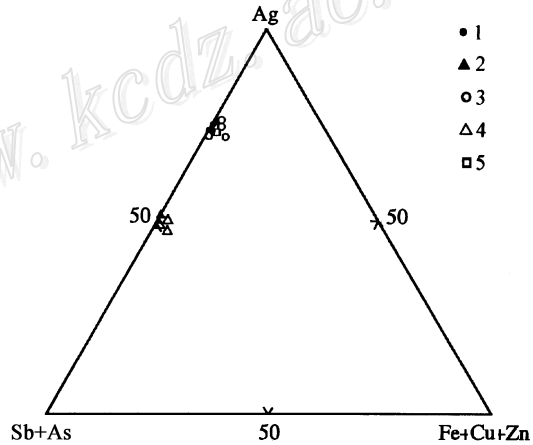


图 3 夏塞矿床 $Sb-Ag$ 硫盐矿物的 $Ag-(Sb+As)-(Fe+Cu+Zn)$ 成分投绘图 (按原子比)

夏塞矿床: 1—深红银矿; 2—辉锑银矿。大厂矿田: 3—深红银矿; 4—辉锑银矿。蔡家营矿床: 5—深红银矿

Fig. 3. Compositional plot of $Ag-(Sb+As)-(Fe+Cu+Zn)$ in $Sb-Ag$ sulphosalts from the Xiasai deposit (In atomic proportions)

The Xiasai ore deposit: 1—Pyrrargyrite; 2—Miargyrite. The Dachang ore field: 3—Pyrrargyrite; 4—Miargyrite. The Caijiaying ore deposit: 5—Pyrrargyrite.

同时见到脆硫

表4 本矿床铅-铋-锑-铅硫盐矿物和自然元素或合金矿物的电子探针分析结果(%)
Table 4. Microprobe analyses of Pb-Sb-, Bi-Pb-sulphosalts and native bismuth and stannum from the deposit (%)

样号	矿物	Pb	Ag	Sb	Bi	Fe	Cu	Zn	Sn	As	S	总和	化学分子式
ZK001-b23-4a ^①	脆硫铋铅矿	40.30	—	33.68	1.41	2.62	0.03	0.02	—	—	21.21	99.27	Pb _{4.12} (Fe _{0.99} Cu _{0.01} Zn _{0.01}) _{1.01} (Sb _{5.85} Bi _{0.14}) _{5.99} S ₁₄
Tc31b1-3 ^①	脆硫铋铅矿	41.53	—	34.79	—	2.64	—	—	—	—	20.92	99.88	Pb _{4.30} Fe _{1.01} Sb _{6.13} S ₁₄
83309 ^②	脆硫铋铅矿	41.18	0.01	34.46	0.20	2.79	—	—	0.14	0.07	21.03	99.88	Pb _{4.24} (Fe _{1.07} Sn _{0.02}) _{1.09} (Sb _{5.05} Bi _{0.02} As _{0.02}) _{6.05} S ₁₄
85900 ^②	脆硫铋铅矿	39.46	—	35.42	0.11	2.46	0.09	—	0.17	—	22.08	99.79	Pb _{3.87} (Fe _{0.89} Cu _{0.03} Sn _{0.03}) _{0.95} (Sb _{5.91} Bi _{0.01}) _{5.92} S ₁₄
ZK001-b23-12 ^①	脆硫铋铅矿	40.13	0.06	34.39	—	2.35	0.06	0.01	0.19	0.08	21.78	99.05	(Pb _{3.99} Ag _{0.01}) _{4.00} (Fe _{0.87} Sn _{0.03} Cu _{0.02}) _{0.92} (Sb _{5.82} As _{0.02}) _{6.84} S ₁₄
ZK001-b23-4b ^①	硫铋铅矿	54.20	—	25.17	0.87	0.11	—	—	—	—	18.45	99.32	Pb _{5.00} (Sb _{3.95} Zn _{0.15} Bi _{0.09} Fe _{0.04}) _{4.22} S ₁₁
Tc3b5-1-6 ^①	硫铋铅矿	54.46	—	25.43	1.36	0.10	—	—	—	—	18.34	99.69	Pb _{5.05} (Sb _{4.02} Bi _{0.12} Fe _{0.03}) _{4.17} S ₁₁
YM4b6-2-10 ^①	硫铋铅矿	55.88	—	24.98	—	0.02	—	—	—	—	18.44	99.32	Pb _{5.16} (Sb _{3.92} Fe _{0.01}) _{3.99} S ₁₁
YM4b5-15 ^①	硫铋铅矿	55.78	0.05	25.44	0.17	0.03	—	—	—	—	18.51	99.98	Pb _{5.13} (Sb _{3.94} Bi _{0.01} Fe _{0.01}) _{4.00} S ₁₁
Tc3b6-2-16 ^①	硫铋铅矿	55.52	—	25.78	—	0.04	—	—	—	—	18.37	99.71	Pb _{5.14} (Sb _{4.04} Fe _{0.01}) _{4.07} S ₁₁
YM4b-6-3-19 ^①	硫铋铅矿	55.24	—	25.83	0.15	0.02	0.02	—	—	—	18.69	99.95	Pb _{5.03} (Sb _{4.00} Bi _{0.01} Fe _{0.01}) _{4.02} S ₁₁
YM4b4	硫铋铅矿	54.18	—	25.47	0.26	0.49	—	—	—	—	18.87	99.27	Pb _{4.98} (Sb _{3.91} Fe _{0.18} Bi _{0.02}) _{4.09} S ₁₁
Tc31b-2-22 ^①	硫铋铅矿	55.60	—	25.70	—	0.40	—	—	—	—	17.87	99.57	Pb _{5.25} (Sb _{4.15} Fe _{0.01}) _{4.17} S ₁₁
85822 ^②	硫铋铅矿	56.15	—	25.41	—	0.05	0.04	—	—	0.24	18.32	100.21	Pb _{5.22} (Sb _{4.02} As _{0.05} Fe _{0.02} Cu _{0.01}) _{4.11} S ₁₁
85938 ^②	硫铋铅矿	55.73	—	25.32	0.10	0.02	0.01	—	0.10	0.08	18.26	99.62	Pb _{5.15} (Sb _{4.01} As _{0.02} Bi _{0.01} Fe _{0.01} Sn _{0.01}) _{4.06} S ₁₁
W042 ^②	硫铋铅矿	55.41	0.03	25.04	—	—	—	—	0.07	0.43	18.85	99.83	Pb _{5.01} (Sb _{3.88} As _{0.11} Sn _{0.01}) _{3.97} S ₁₁
D011b11	硫铋铅矿	54.97	—	25.79	—	0.15	0.01	0.08	0.27	0.05	18.68	100.09	Pb _{5.01} (Sb _{4.00} Fe _{0.06} Sn _{0.04} Zn _{0.02} As _{0.01}) _{4.12} S ₁₁
D011b12	斜方辉铋铅矿	40.09	—	4.30	38.40	0.10	0.32	—	—	0.02	16.59	99.82	Pb _{1.87} (Bi _{1.77} Sb _{0.31}) _{2.11} (Cu _{0.03} Fe _{0.02}) _{0.07} S ₅
ZK001-b38-2-1 ^①	斜方辉铋铅矿	40.32	—	4.07	38.17	0.13	0.40	—	—	0.07	16.71	99.87	Pb _{1.87} (Bi _{1.75} Sb _{0.32} As _{0.01}) _{2.08} (Cu _{0.06} Fe _{0.02}) _{0.08} S ₅
Ⅲ 3-1	自然铋	—	—	0.06	99.48	0.06	—	—	—	0.07	—	99.67	Bi _{0.99}
YM4b6	自然元素 或合金	(Au) 55.85	42.03	—	—	0.15	0.03	—	—	0.41	—	99.75	(Bi _{0.98} Fe _{0.01} As _{0.01}) _{1.00}
	银金矿	—	—	—	—	0.23	1.69	—	—	—	—	99.80	(Ag _{0.55} Au _{0.40} Cu _{0.04} Fe _{0.01}) _{1.00}

① 同表2; ②样品的数据引自李福林,赵汝松,1994,大厂矿田矿物学,第110页和119页

锑铅矿溶蚀交代黄锡矿, 并穿入石英中(见照片2)。该矿物化学成分(表4)含Pb 40.30%~41.53%、Sb 33.68%~34.79%、Fe 2.62%~2.64%、S 20.92%~21.21%, 尚含少量Bi、Cu、Zn等, 与大厂矿田所产同名矿物的主成分基本相同。

(2) 硫锑铅矿: 其比脆硫锑铅矿常见, 多呈叶片状或板条状集合体, 粒度(mm): $0.01 \times 0.04 \sim 0.03 \times 0.3$ 。反射色白色, 与方铅矿一起者带橄榄绿或柠檬黄色, 反射多色性浅蓝灰—淡棕灰, 非均质性明显。硫锑铅矿不但分布于石英粒间或裂隙内, 其强烈发育时, 叶片或板条间夹有他形石英(照片6), 它还穿切和包裹、溶蚀富铁闪锌矿、黄铜矿(照片7)。本矿床的硫锑铅矿平均含(%) Pb 55.22、Sb 25.47、S 18.43 和少(微)量Bi、Fe、Zn和As, 与大厂矿田的该矿物成分相类同。表4表明, 硫锑铅矿以Pb含量较高, Sb、S含量较低且贫Fe而不同于脆硫锑铅矿。

4.4 Bi-Pb 硫盐矿物

其在矿石中偶见, 远不及上述硫盐矿物发育。

斜方辉铋铅矿呈纤维状或叶片状单独或集合体产出。反射色白, 非均质性明显。多与毒砂、黄铁矿、石英等伴生, 或沿富铁闪锌矿、方铅矿的解理、裂隙发育。表3表明, 其平均含Pb 40.20%、Bi 38.29%、Sb 4.18%、S 16.65%, 尚含微量的Cu、Fe和As。

5 自然元素和合金矿物

这类矿物相对较少(罕)见。

(1) 自然铋: 常呈粒状, 粒度(mm): $0.02 \times 0.04 \sim 0.03 \times 0.07$ 。反射色微带玫瑰色调黄色, 反射多色性不甚明显, 非均质性。其反射率比自然金低得多, 硬度小不易磨光, 具明显粗糙感。它嵌布于磁黄铁矿与石英之间(照片8)。表4表明, 自然铋平均含Bi 99.32%和含痕量Fe、Sb、Cu及As。

(2) 银金矿: 呈细小粒状, 反射色淡黄—亮白, 具异常非均质性, 被包裹于辉锑银矿中。其化学成分如表3所示。

6 意义及结论

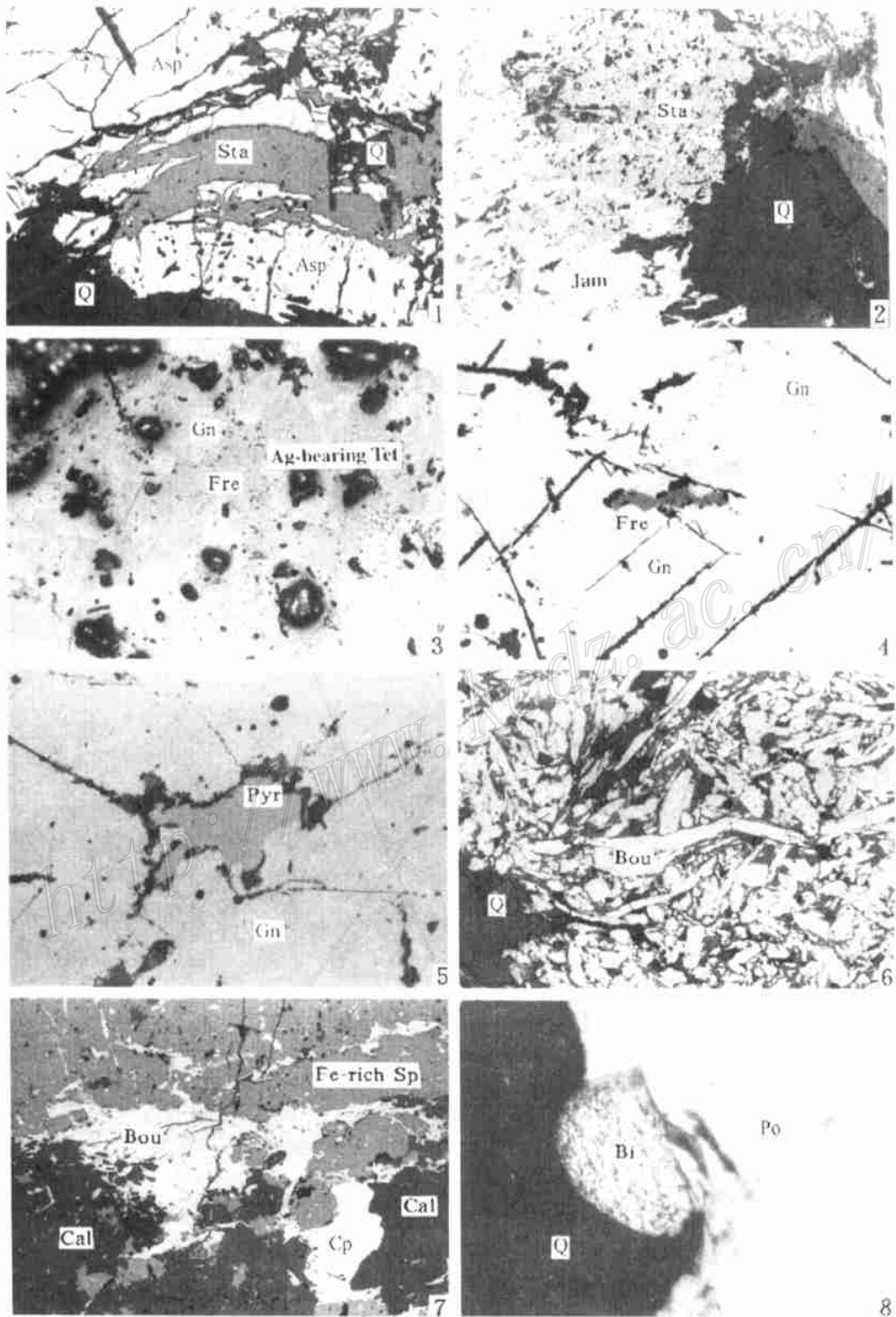
通过对本矿床矿石硫化物及不同硫盐系列矿物的镜下仔细观察及电子探针分析研究, 业已查明了主要硫化物和Cu-Sb-Ag、Sb-Ag、Pb-Sb和Bi-Pb等硫盐矿物种属, 硫化物先后形成的基本秩序为毒砂→黄铁矿→磁黄铁矿、富铁闪锌矿→方铅矿→黄铜矿、黄锡矿→辉银矿, 硫盐矿物形成通常比上述硫化物晚些。硫盐系列矿物中, 相对早形成的是Cu-Sb-Ag系列矿物, 接着是Sb-Ag系列矿物, 尔后是Pb-Sb系列矿物, 最晚的是Bi-Pb系列矿物。这为了解本矿床的矿化过程, 确定矿石矿物形成期次和生成秩序打下了基础。

本矿床主要可利用金属是Pb、Zn、Ag、Cu。铅主要呈方铅矿, 小部分Pb呈硫锑铅矿、脆硫锑铅矿和斜方辉铋铅矿等。Zn主要是呈富铁闪锌矿, 少量Zn参与所述黝铜矿族矿物中。Cu主要呈黄铜矿, 少量Cu参与黄锡矿和黝铜矿族矿物的成分内。关于Ag的赋存状态, 除少量Ag呈辉银矿存在外, 其主要是呈银硫盐矿物——黝铜矿、含银黝铜矿、银黝铜矿、深红银

矿和辉锑银矿等产出, 无论银硫化物还是银硫盐矿物, 其绝大多数均以赋存于方铅矿的解理、微裂隙或粒间间隙为特征。在黝铜矿、含银黝铜矿和银黝铜矿成分中, Ag 与 Cu 呈负相关, Ag 含量高低与 (Fe+ Zn) 原子百分数、Sb/ (Sb+ As) 比值无关。具有综合利用价值的金属有 Sb、Sn 和 Cd, Sb 主要呈硫锑铅矿、脆硫锑铅矿和黝铜矿族矿物、深红银矿和辉锑银矿等产出。Sn 主要呈黄锡矿和锡石。Cd 主要赋存于富铁闪锌矿内。这些资料为本矿床的综合评价和矿石的选冶回收有用金属, 提供了重要依据。

照片说明

- 1 黄锡矿 (Sta) 穿切、包裹并溶蚀毒砂 (Asp), 黑色脉石为石英 (Q)。ZK005III1, 反光镜下, 单偏光 (油浸) $\times 100$
- 2 黄锡矿 (Sta) 被脆硫锑铅矿 (Jam) 叶片状集合体溶蚀交代, 同时脆硫锑铅矿穿入石英中。Tc31b1, 反光镜下, 单偏光 $\times 100$
- 3 银黝铜矿 (Fre) 和含银黝铜矿 (Ag-bearing Tet) 呈不规则粒状分布于方铅矿 (Gn) 中, 并包裹溶蚀方铅矿。YM4b6, 反光镜下, 单偏光 $\times 112$
- 4 银黝铜矿 (Fre) 呈不规则粒状, 赋存于方铅矿 (Gn) 裂隙或间隙内。YM_i 补1, 反光镜下, 单偏光 (油浸) $\times 200$
- 5 深红银矿 (Pyr) 产于方铅矿 (Gn) 粒间或裂隙内。YM4b-1-8, 反光镜下, 单偏光 (油浸) $\times 200$
- 6 硫锑铅矿 (Bou) 呈叶片、板条或粒状集合体, 其间夹有不规则状石英 (Q) 或穿入石英中。Tc3b5-1-6, 反光镜下, 单偏光 $\times 200$
- 7 硫锑铅矿 (Bou) 呈叶片状集合体穿切、溶蚀含乳滴状黄铜矿的富铁闪锌矿 (Fe-rich Sp) 和黄铜矿 (Cp), 同时其间夹有方解石 (Cal) 或浸染于方解石中。ZK001-b23-12, 反光镜下, 单偏光 $\times 200$
- 8 自然铋 (Bi) 分布于磁黄铁矿 (Po) 与石英 (Q) 之间, 与石英接触一侧呈圆滑弧形, 与磁黄铁矿呈近直角接触, ZK001-b38-2-1, 反光镜下, 单偏光 (油浸) $\times 790$



参 考 文 献

- 1 黄民智, 唐绍华. 大厂锡矿床学概论 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1988, 21~24.
- 2 黄典豪, 丁孝石, 吴澄宇等. 河北蔡家营铅-锌-银矿床矿物学特征和金、银、铋赋存状态的研究 [J]. 地质学报, 1991, 65 (2): 127~139.
- 3 李锡林, 赵汝松. 大厂矿田矿物学 [M]. 北京: 科学出版社, 1994, 39, 110, 119, 145, 147.
- 4 Nickel E H, Grice J D. 国际矿物学协会新矿物及矿物命名委员会关于矿物命名的程序和原则 (1997年), 王立本编译 [J]. 岩石矿物学杂志, 1999, 18 (3): 273~284.
- 5 黄典豪. 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 [J]. 矿床地质, 1999, 18 (3), 244~251.
- 6 黄典豪. 银多金属矿床中黝铜矿族银硫盐矿物的特征及其意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 2000, 19 (1), 78~87.

CHARACTERISTICS OF SULFIDE AND SULFOSALT MINERALS FROM THE XIASAI SILVER-POLYMETALLIC DEPOSIT AND THEIR SIGNIFICANCE

Huang Dianhao

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

Hu Shihua

(Institute of Geology and Mineral Resources, Sichuan Bureau of Geology and
Mineral Resources Exploration, Chengdu 610081)

Key words: Xiasai silver-polymetallic deposit, sulfides, sulfosalts, west Sichuan

Abstract

The Xiasai ore deposit is a large hydrothermal vein type silver-polymetallic deposit genetically related to the late Yanshanian porphyritic monzonitic granite emplaced in Upper Triassic Tumugou Formation. The orebodies veinlike, lenticular and chamber in form are mainly controlled by NWW- and nearly SN-striking faults and their intersections with in sedimentary- (volcanic) fragmental rocks of Tumugou Formation.

Based on the investigation of a considerable number of polished ore sections and electron microprobe analyses, the authors determined the compositions of ore minerals, which consist mainly of galena, iron-rich sphalerite and subordinately pyrite, arsenopyrite, pyrrhotite, chalcopyrite as well as many kinds of sulfosalt minerals. The Cu-Sb-Sb sulfosalts (tetrahedrite, Ag-bearing tetrahedrite and freibergite) and Sb-Ag sulfosalts (pyrargyrite, miargyrite) and sulfide (argentite) are the most important silver minerals. The Pb-Sb sulfosalts are jamesonite and boulangerite. The observed Bi-Pb sulfosalt is only cosalite. Moreover, the ores contain small amounts of native bismuth and electrum. The investigations under microscope show

that the sequence of sulfide formation is essentially arsenopyrite→pyrite→pyrrhotite, iron-rich sphalerite→galena→chalcopyrite, stannite→argentite. The formation of the sulfosalts is commonly later than common sulfides in the deposit. The sequence of the sulfosalts formation is commonly Cu-Sb-Ag sulfosalts→Sb-Ag sulfosalts→Pb-Sb sulfosalts→Bi-Pb sulfosalt. Most argentite and silver sulfosalts are characterized by their occurrence in cleavages, fissures or intergranular space of galena. As for the chemical composition of tetrahedrite, Ag-bearing tetrahedrite and freibergite, there exists negative correlation between silver and copper, and silver content bears no relationship with atomic proportion and $Sb/(Sb+As)$ ratio of $(Fe+Zn)$. These results are of significance in understanding mineralization process, dividing mineralization stages and determining sequence of ore mineral formation, and also provide an important information for integrated evaluation of the deposit as well as ore dressing and smelting.

2000年《矿床地质》审稿人员名单

2000年度以下矿床学专家(人员前后按姓氏笔画为序)为《矿床地质》多次审过稿件,为本刊文章质量提高做出了较大贡献,编辑部特此表示感谢!

王立本	王松山	王书凤	王建平	王秀璋	王河锦	王学求	毛景文
吕古贤	朱裕生	华仁民	刘兰笙	刘家远	刘秉光	汤中立	杜乐天
李荫清	李裕伟	芮行健	芮宗瑶	林文蔚	杨岳清	吴必豪	吴良士
余金生	宋学信	张光弟	张国伟	张德全	陈大经	邵和明	赵一鸣
赵凤鸣	胡达骧	侯增谦	施林道	姬金生	聂凤军	俞学惠	袁忠信
顾连兴	徐九华	徐志刚	黄怀曾	黄典豪	董永观	谢佑新	蔡新平
翟裕生	赫英						