



个旧深部含锡多金属硫化矿赋存状态研究

刘益萍

(云锡集团研究设计院, 云南 个旧 661000)

摘要:本文通过对含锡多金属硫化矿体的工艺矿物学研究,对矿石的物质组成、锡、铜、铅、锌的赋存状态、晶体形态、结晶粒度、多元素在空间分布状态作了综合分析,提出了影响含锡多金属硫化矿体中有价元素回收的工艺矿物学因素,此研究结果可为选矿确定佳选矿工艺流程,最大限度提高多金属元素回收率提供参考依据,达到综合利用的目的。

关键词:锡石多金属;赋存状态;粒度;工艺矿物;回收率

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2013.06.012

中图分类号:TD98,P616 文献标识码:A 文章编号:1000-6532(2013)06-0044-04

个旧是国内锡成矿带上最重要的超大型锡、铜多金属矿集区之一,随着锡资源的逐年开采,单一的锡资源越来越少,锡的开采逐渐转向含锡多金属硫化矿体。锡石硫化矿类型多,伴生有用矿物种类多,综合利用价值高,有较高的经济价值和学术研究价值。为了更好地对这类型矿产资源加以利用,需对矿产资源中各种有价金属进行工艺矿物学研究,帮助选矿确定合理工艺流程,最大限度提高选矿回收率,以此来提高资源的附加值,增加企业经济效益。

1 矿石特征研究

1.1 原矿化学分析及粒度组成

原矿中锡、铜、铅、锌金属主要集中在+0.074mm级别中,金属率累计占80%左右,并且金属率越大,产率也大,由此说明四种金属的结晶粒度细小,选矿工艺中需加强磨矿,使有用金属矿物尽量单体解离,进一步提高回收率。原矿多元素分析结果见表1。

表1 原矿多元素分析结果/%

Table 1 The analysis results of the multi-elements of the raw ore

Sn	Fe	Pb	Mn	Zn	As	S
0.16	19.9	1.32	0.32	2.16	0.092	12.12
Ca	Cu	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Bi	Ag	Mg
8.48	1.12	24.82	2.15	0.065	100.9	1.17

1.2 主要矿物组成及含量

矿石由二十余种矿物所组成,有用矿物以锡石、方铅矿、铁闪锌矿、黄铜矿为主,其中锡石占0.08%、黄铜矿占2.10%、铁闪锌矿占2.95%、方铅矿占1.05%,金属矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、赤、褐铁矿、磁铁矿、毒砂等矿物,总金属矿物占有量为28.02%,偶见黝锡矿、铜蓝、菱锌矿、异极矿,脉石矿物以石英、长石、辉石、方解石、白云石、萤石为主,总矿物量为59.61%,其次是石榴石、电气石、阳起石、云母等,总矿物量为6.19%。属高硅含锡石多金属硫化矿床。

2 锡多金属赋存状态研究

2.1 锡赋存状态

矿样中的锡品位0.16%,锡物相分析结果表明,锡主要以锡石形式存在,其分布率为92.86%,酸溶锡分布率占7.14%,锡石锡是供选矿回收的最大可能理论回收率。为了进一步预测锡石锡实际回收率,确定锡石磨矿粒度特对锡石做了单体解离度测定,经在+1-0.010mm的九个级别中分析,锡石在0.6~0.3mm中就可可见单体,但单体解离度低;仅占12.78%;最佳可选级别-0.074-0.037mm级别中的单体解离度也不高仅占81.25%;锡石单体解离情况见表2)。从表2可看出,出露矿石表面可见锡石

锡金属率不高仅占 29.62%，还有 70.38% 的锡金属呈细粒、微细粒嵌布包裹在其他矿物中；究竟包裹的锡金属是嵌布包裹在何种矿物中，分析中特提取矿样的主量矿物石英、方解石、辉石、黄铁矿进行纯净单矿物分析，这部分细粒锡金属不同程度都分布主量矿物中（见表 3），经偏反两用显微镜、扫描电镜下对多颗纯净锡石分析见（图 1）；该地区纯净锡石接近理论品位；对产出高品位锡精矿没有影响，但与其主量矿物共生关系密切。通过对锡赋存状态的研究，矿样中锡金属的赋存形式主要以锡石锡的形式赋存，由于锡石结晶粒度细；单体解离度差，与其他矿物共生关系密切。在选矿工艺中必须考虑加强磨矿粒度，使锡石尽量单体解离，最大限度地提高锡金属回收率。

表 2 锡石单体解离度

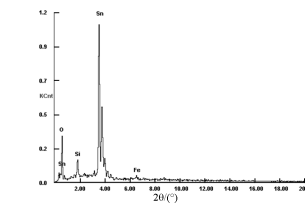
Table 2 The single separation degree of cassiterite

项目	单体及 4/5	4/5 ~ 1/2	1/2 ~ 1/4	<1/4	细粒包裹体	合计
单体解离/%	26.32	2.28	0.79	0.23	70.38	100.00

表 3 锡在主要矿物中的分布

Table 3 The distribution of cassiterite in the main minerals

矿物组成	锡石	石英	方解石	辉石	黄铁矿	其他矿物	合计
分布率/%	39.47	9.87	2.73	3.66	8.20	36.07	100.00



元素	重量百分比 /%	原子数百分比含量%
O K	19.93	62.30
Si K	00.93	01.65
S K	00.33	00.51
Sn L	75.73	31.92
Ca K	02.43	03.03
Fe K	00.65	00.58

图 1 锡石 X 射线能谱分析及含量

Fig. 1 The energy dispersive X-ray spectroscopy and content of cassiterite

2.2 铜的赋存状态

矿样中铜品位 1.12%，铜物相分析结果表明，铜是以原生硫化铜、次生硫化铜、硫酸铜、自由氧化铜、结合氧化铜等多种形式赋存，其中原生硫化铜（黄铜矿）分布率占 88.18%，原生硫化铜是供选矿分选铜的最大可能理论回收率。因此对黄铜矿的实际回收率进行预测，首先对多颗纯净黄铜矿作扫描电镜分析，黄铜矿平均含铜 33%（图 2），比较接近理论值，对生产合格铜精矿没有影响。为确定选铜的磨矿粒度，对黄铜矿做单体解离度测定，在+1-0.010mm 的九个级别中分析，黄铜矿在+1mm 级别中有单体产出，其解离度为 30.53%，0.010mm 级别可

达 96.11%，并可见连生体，最佳可选级别 0.074 ~ 0.037mm 中的单体解离度也高，达到 80% ~ 90%，显微镜下可见黄铜矿（单体+结合体）占 66.79%，还有 33.21% 的黄铜矿呈细粒、微细粒嵌布在其他矿物中（表 4）。为查找含铜 33.21% 铜金属量的分布状态，提纯净黄铜矿、石英、方解石、辉石、黄铁矿等单矿物进行分析，其中黄铜矿所占铜金属 66.65%，黄铁矿所占铜金属 23%，由此说明铜金属主要以黄铜矿形式赋存；但还有 23.16% 的铜金属呈细粒、微细粒嵌布、包裹在黄铁矿中（表 5），可见黄铜矿和黄铁矿共生关系相对密切。通过分析，只有 66.79% 的铜金属呈独立矿物黄铜矿的形式赋存，这部分铜金属是选矿中应该回收到的，还有 23.16% 的铜金属在选矿工艺中需加强磨矿粒度，使铜硫进一步分离来提高铜精矿的回收率。

表 4 黄铜矿单体解离情况

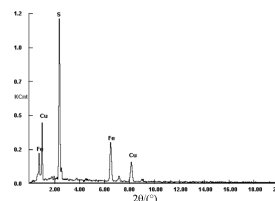
Table 4 The single separation of chalcopyrite

项目	单体及 4/5	4/5 ~ 1/2	1/2 ~ 1/4	<1/4	细粒包裹体	合计
单体解离/%	54.86	3.34	4.25	4.34	33.21	100.00

表 5 铜在主要矿物中的分布

Table 5 The distribution of copper in the main minerals

矿物组成	黄铜矿	石英	方解石	辉石	黄铁矿	其它矿物	合计
分布率/%	66.65	0.11	0.06	0.47	23.16	9.55	100



元素	重量百分比 /%	原子数百分比含量%
S K	36.09	
Fe K	30.69	25.01
Cu K	33.22	23.79

图 2 黄铜矿 X 射线能谱分析及含量

Fig. 2 The energy dispersive X-ray spectroscopy and content of chalcopyrite

2.3 铅的赋存状态

矿样中铅品位 1.32%，铅物相分析表明，铅主要以硫化铅（方铅矿）的形式存在，分布率占 84.93%，是选矿分中选铅的最大可能理论回收率，还有占 15.07% 的氧化铅和其他形态的铅赋存。

为了进一步预测方铅矿的实际回收率，对多颗纯净方铅矿作扫描电镜分析，纯净方铅矿平均含铅量 86.12%（图 3），比较接近理论值，对生产合格铅精矿没有影响。为确定方铅矿磨矿粒度，对方铅矿做单体解离度测定，在+1-0.010mm 的九个级别中分析，方铅矿在+1mm 级别中就有单体产出，其解离

度为 20%，到 0.010mm 级别可达 98%，并可见连生体。最佳可选级别 0.074 ~ 0.037mm 级别中的单体解离度较高，达到 85% ~ 95%，显微镜下可见铅(单体+结合体)占 63.58%，还有 36.42% 的方铅矿呈细粒、微细粒嵌布在其他矿物中(表 6)，为了解细粒、微细粒的分布状态，对纯净方铅矿；白铅矿、脉石；黄铁矿等进行单矿物分析，其中方铅矿所占铅金属 59.59%，白铅矿所含铅金属 12.31%，在其他矿物中占铅金属占 18.48% (表 7)。由此说明铅金属主要以方铅矿、白铅矿形式赋存；这部分出露矿石表面，并呈独立矿物形式赋存的铅金属是选矿工艺中应该回收到的，但还有 18.48% 的铅金属主要呈细粒、微细粒嵌布、包裹在脉石矿物一项中。因此选矿工艺中应加强磨矿，使铅矿物与脉石矿物有效分离，进一步提高铅金属的回收率。

表 6 方铅矿单体解离情况

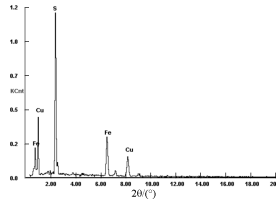
Table 6 The single separation of galena

项目	单体及 4/5	4/5 ~ 1/2	1/2 ~ 1/4	<1/4	细粒包裹体	合计
单体解离/%	51.12	3.88	4.00	4.58	36.42	100.00

表 7 铅在主要矿物中的分布

Table 7 The distribution of lead in the main minerals

矿物组成	方铅矿	白铅矿	脉石	黄铁矿	其他矿物	合计
分布率/%	59.59	12.31	3.19	6.43	18.48	100.00



元素	重量百分比 /%	原子数百分比含量%
O K	06.00	37.86
S K	02.95	09.30
CaK	02.74	06.90
FeK	02.19	03.97
PbL	86.12	41.97

图 3 方铅矿 X 射线能谱分析及含量

Fig. 3 The energy dispersive X-ray spectroscopy and content of galena

2.4 锌的赋存状态

矿样中锌品位 2.16%，通过化学物相分析，可以看出锌主要是以硫化锌的形式赋存，分布率占 77.51%，还有 18.99% 的锌金属是以氧化锌和硅酸锌的形式分布，这些锌金属是供选矿分选的最大理论回收率。经显微镜下分析硫化锌主要以铁闪锌矿的形式赋存。

为了进一步预测铁闪锌矿的实际回收率，对该矿体多颗纯净铁闪锌矿作扫描电镜分析，纯净铁闪锌矿平均含锌量 55% (图 4)，与理论值不接近，因为锌与铁发生类质同象，对生产合格锌精矿有一定影响。为确定铁闪锌矿磨矿粒度特对铁闪锌矿做了单体解离度测定，经在 +1-0.010mm 的九个级别中

分析，铁闪锌矿在 +1mm 级别中就有单体产出，其单体解离度为 24%，0.010mm 级别可达 99%，并可见连生体。最佳可选级别 0.074 ~ 0.037mm 级别中的单体解离度也高，达到 86% ~ 95%，显微镜下可见锌(单体+结合体)占 60.92%，还有 39.08% 的铁闪锌矿呈细粒、微细粒嵌布在其他矿物中(表 8)，为查清含锌金属的分布状态，对纯净矿物铁闪锌矿、菱锌矿、黄铁矿、脉石的作单矿物分析，其中铁闪锌矿所含锌金属 61.17%，菱锌矿所含锌金属 3.59%，在脉石矿物所含锌金属 0.40%，黄铁矿含锌 1.00%。由此说明锌金属主要以铁闪锌矿形式赋存；是选矿工艺中应该回收到的锌金属，但还有 33.84% 的锌金属呈细粒、微细粒嵌布、包裹在脉石矿物 8，选矿中应加强磨矿粒度，使与脉石、其他矿物密切共生的这部分锌金属单体解离，最大限度来提高锌金属的回收率。

表 8 铁闪锌矿单体解离情况

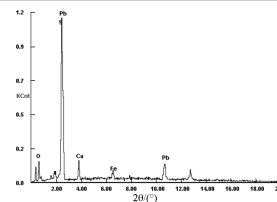
Table 8 The single separation of marmatite

项目	单体及 4/5	4/5 ~ 1/2	1/2 ~ 1/4	<1/4	细粒包裹体	合计
单体解离/%	50.82	4.37	2.95	2.78	39.08	100.00

表 9 锌在主要矿物中的分布

Table 9 The distribution of zinc in the main minerals

矿物组成	铁闪锌矿	菱锌矿	脉石矿物	黄铁矿	其他矿物	合计
分布率/%	61.17	3.59	0.40	1.00	33.84	100.00



元素	重量百分比 /%	原子数百分比含量%
O K	02.76	08.28
AlK	00.87	01.55
SiK	01.24	02.12
S K	21.36	31.99
FeK	14.85	12.77
ZnK	58.92	43.29

图 3 闪锌矿 X 射线能谱分析及含量

Fig. 3 The energy dispersive X-ray spectroscopy and content of marmatite

3 结 语

通过分析含锡多金属硫化矿是以锡为主，综合利用多种金属的有价值矿体，但其矿体有价元素赋存状态复杂，经过分析，提出影响多元素回收的矿物学因素包括：嵌布粒度粗细不均，单体解离度不是很理想(特别是锡石锡)并与矿样中的其他矿物共生关系密切；但在选矿工艺中只需根据矿石所特有的性质，合理选择适合该矿体的选别流程，有价元素的选矿回收率是会得到进一步提高。

(下转 53 页)