

某砂岩型铜矿工艺矿物学研究^{*}

伏彦雄, 戈保梁, 童雄, 李青, 张晋禄

(昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明, 650093)

摘要:针对某低品位砂岩型铜矿进行工艺矿物学研究, 结果表明, 该铜矿石矿物成分复杂, 原生硫化铜矿物为黝铜矿、黄铜矿, 次生硫化铜矿物为斑铜矿、辉铜矿、蓝铜矿; 氧化铜矿物主要为孔雀石; 脉石矿物以石英、白云母、高岭土、绢云母为主。原矿含铜 0.77%, 氧化率为 45.45%, 为一氧化不彻底的氧化铜矿石。矿石中存在着一部分嵌布粒度较细的铜矿物。由于部分硫化铜矿物常和白云石、黄铁矿共生, 部分氧化铜矿物常与褐铁矿互相浸染, 因此选择合理的磨矿细度, 使细粒嵌布的铜矿物充分单体解离是本矿石获得较好选矿指标的关键。

关键词:砂岩型铜矿; 工艺矿物学; 赋存状态

中图分类号: TD91; TD952.1 文献标识码: B 文章编号: 1001-0076(2013)06-0013-06

Process Mineralogy Study on a Sandstone Copper Ore

FU Yan-xiong, GE Bao-liang, TONG Xiong, LI Qing, ZHANG Jing-lu

(School of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China)

Abstract: In this thesis the object of study is a low grade sandstone copper with complex composition. The results of the process mineralogy research showed that the primary sulfide copper minerals are tetrahedrite and chalcopyrite while the secondary sulfide copper minerals are bornite, chalcocite and azurite. The main oxide copper mineral is malachite and the main gangue mineral is quartz. The grade of copper is 0.77% and the oxidation rate is 45.45% in the run of mine. There is a part of copper mineral particles disseminated relatively fine. As the copper minerals often intergrow with dolomite and pyrite and the oxide copper minerals are often blended with limonite, the key of obtaining the good flotation index is a reasonable grinding fineness to ensure full liberation of the fine-disseminated copper mineral particles.

Key words: sandstone copper; process mineralogy; occurrence

前言

铜是重要的有色金属, 它在经济建设中发挥着

十分重要的作用, 合理开发利用铜矿资源对于我国的经济建设、社会发展和人民生活都具有重要的意义。近年来随着矿产资源的逐渐枯竭, 矿石也逐渐

* 收稿日期: 2013-09-22; 修回日期: 2013-11-17

基金项目: 国家自然科学基金优先资助领域重点项目(编号: U0937602); 国家自然科学基金项目(编号: 51174103)联合支持

作者简介: 伏彦雄(1986-), 男, 在读硕士生, 主要从事矿物加工工程浮选理论与工艺研究。

地趋于贫、细、杂化,铜矿石越来越难选,研究发现铜矿物的可选性及其在选矿过程中的行为,与其化学组成、晶体结构和物理化学性质密切相关^[1~3]。因此对铜矿石开展工艺矿物学研究,查明铜矿石工艺特性,是制定合理的选别流程的基础^[4~6]。

云南某砂岩型铜矿具有含铜量低、氧化率高、含泥量大、矿物嵌布关系复杂等特点,属难选矿石。为合理开发该类型矿产资源,最大限度地提高矿石的选矿指标,本次研究分别对其矿石的化学性质、矿物组成、嵌布特征及赋存状态进行了详细的考查,最终得出对选矿试验研究具有指导意义的结论,为制定合理的选矿工艺流程提供了理论依据,也为今后该类矿石的开发利提供了方向。

1 矿石性质

1.1 原矿化学分析

原矿多元素分析、物相分析结果分别见表 1、2。

表 1 原矿多元素分析结果								
元素	Cu	Pb	Zn	SiO ₂	TFe	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O
含量	0.77	0.11	1.45	49.55	3.50	10.70	4.97	0.66
元素	As	Ag [*]	Au [*]	Bi	Mo	CaO	S	
含量	0.026	8.30	0.20	0.005	0.001	6.57	0.54	

注:带* 的元素单位为 10⁻⁶。

由表 1 可知,矿石中可供利用的元素为铜,另外矿石中的锌、金和银值得关注,其它元素无回收价值,脉石矿物以石英、白云石、高岭土、绢云母为主。

表 2 铜物物相析结果					/%
项目	氧化铜		硫化铜		总铜
	结合氧化铜	自由氧化铜	原生硫化铜	次生硫化铜	
含量	0.05	0.30	0.10	0.32	0.77
分配(布)率	6.49	38.69	12.99	41.56	100

由表 2 可知,矿石中铜品位为 0.77%,其中硫化铜占 54.55%,结合氧化铜为 6.49%,自由氧化铜为 38.96%。结合氧化铜中有部分为方解石、泥质等包裹的孔雀石,由于这部分孔雀石粒度极细,被方解石、泥质等包裹,所以这部分铜就以结合氧化铜的形式出现。

1.2 矿石的结构、构造

1.2.1 矿石的结构

砂状结构:岩石中碎屑约在 50%~95% 之间变化,粒度一般在 0.08~0.25 mm 左右,呈棱角状—次圆状,构成砂状结构。碎屑间常为泥质(绢云母)和微晶—泥晶方解石、白云石,见图 1。

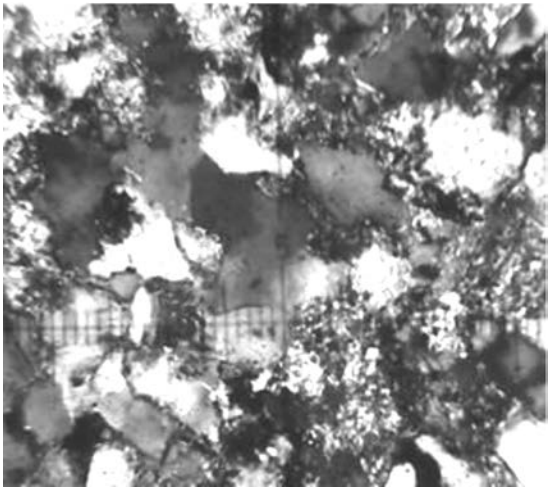


图 1 砂状结构,透射正交偏光,标尺每小格 0.01 mm。

泥状结构:矿石主要由钙泥质组成,其中以泥质为主,构成泥状结构,见图 2。部分泥质重结晶呈显微鳞片状,在局部又构成显微鳞片状结构。泥质粉砂状结构:主要有泥质和石英粉砂组成,石英粉砂粒度一般在 0.05 mm 以下,构成泥质粉砂结构,见图 3。

微晶—细晶结构:矿石主要由微晶—细晶方解石或白云石组成,中间分布少量的泥质和石英粉砂,构成微晶—细晶结构,见图 4。

1.2.2 矿石的构造

矿石主要呈浅灰色、灰褐色和暗灰色。主要有块状构造(厚层状构造)、薄层状构造、角砾状构造。

层状构造:矿石的岩石类型主要有钙质白云质泥岩、泥质(粉、细)砂、泥质白云岩、石英细砂岩。呈致密块状(厚层状)、层状构造。

薄层状构造:含粉砂质白云质钙质泥岩、白云质钙质泥岩、泥质白云岩等呈薄层状相间分布,构成薄层状构造。

角砾状构造:矿石中局部石英碎屑和长石碎屑粒度大于 2 mm,形成角砾,构成角砾状构造。

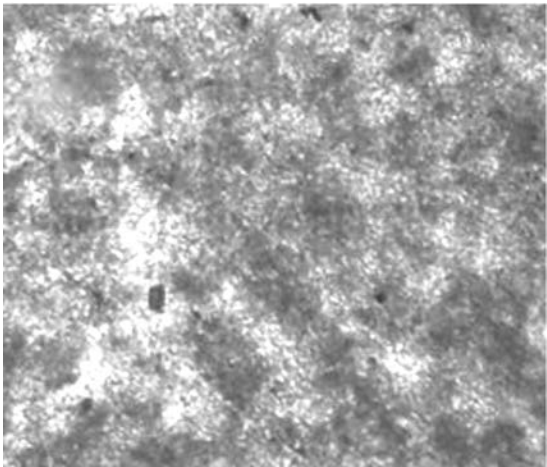


图2 泥状结构,透射单偏光,
标尺每小格0.01 mm



图3 泥质粉砂状结构,透射正交偏光,
标尺每小格0.01 mm

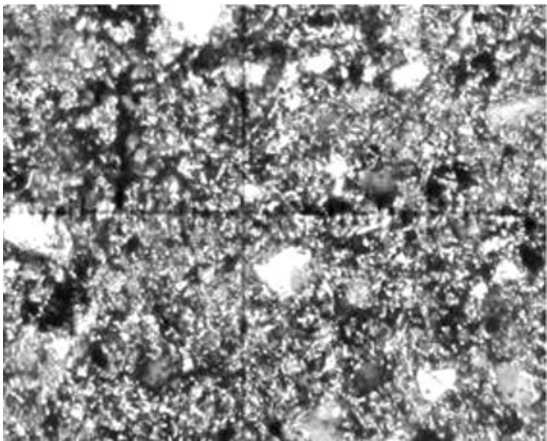


图4 微晶结构,透射正交偏光,
标尺每小格0.01 mm

2 矿石的矿物成分和嵌布特征

样品经过光薄片鉴定,人工重砂鉴定,X衍射分析和电子显微镜等分析发现氧化物、硅酸盐、硫化物、碳酸盐等共计19种矿物,其中主要有用矿物为孔雀石、黝铜矿、黄铜矿、斑铜矿等;主要脉石矿物为石英、白云石、高岭石、绢云母等。同时在化学多元素定量分析、铜的化学物相分析基础上,依据主要矿物的化学成分进行矿物定量,同时进行了铜元素的平衡计算,矿石的矿物成分及粒度组成见表3。

表3 矿石中铜矿物的组成及分布结果							/%
矿物名称	矿物含量	在矿石中所占铜的量	铜在各矿物中的分布率	嵌布粒度/mm			
				最大	一般	最小	
孔雀石	0.52	0.299	38.98	0.5	0.03	0.3	0.01
黄铜矿	0.30	0.104	13.56	0.3	0.02	0.1	0.001
黝铜矿	0.34	0.177	23.08	3	0.06	0.5	0.001
斑铜矿	0.14	0.089	11.60	1	0.03	0.3	0.001
辉铜矿	0.06	0.048	6.26	0.5	0.02	0.15	0.001
白云石 绢云母 绿泥石 石英等	98.64	0.05	6.52	——	——	——	——
合计	100.00	0.767	100.00				

表中可看出孔雀石是矿石中的主要铜矿物和目的矿物之一。样品中的孔雀石主要由原矿石中的原生硫化铜和次生硫化铜矿物(黄铜矿、黝铜矿、斑铜矿、辉铜矿等)蚀变形成。尤其是存在大量的碳酸盐的情况下,更有利于孔雀石的形成。

矿石中的孔雀石有三种分布形式:第一种隐晶质,被吸附在泥质或泥晶白云石中,在显微镜下很难观察到,但对分离出来的泥质等进行化学分析,可以分析出铜的存在,这部分孔雀石约占1/6左右。这主要是由于矿石氧化时间较短,形成的孔雀石还来不及进一步结晶和富集。第二种常和褐铁矿、泥质等相互混杂,分布于粉砂岩和泥质粉砂岩中,这部份孔雀石相对第一种孔雀石,形成时间相对要长,并有一定的富集,多为隐晶质,结晶粒度细小,多以集合体的形式与褐铁矿等互相浸染,这部分孔雀石占1/5~1/3左右。见图5、6,粒度一般在0.05~0.25 mm左右。第三种孔雀石相对前两种,经过迁移和较好的富集结晶,结晶粒度较大多为柱状、束状自形晶,集合体多呈脉状分布,见图7、8。单体粒度一般在

0.05 ~ 0.3 mm(长轴), 集合体为 0.05 ~ 0.5 mm。

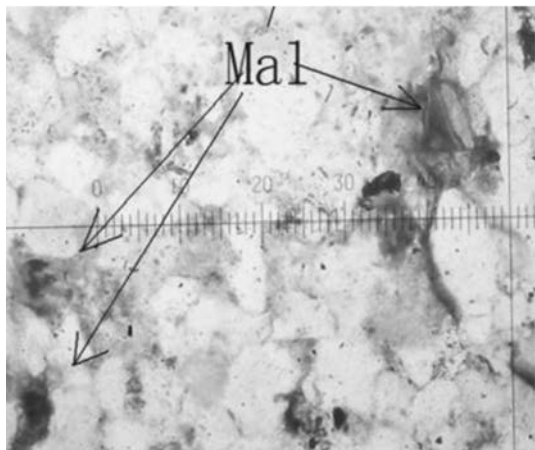


图5 隐晶质孔雀石(Mal)透射单偏光, 标尺每小格 0.01 mm

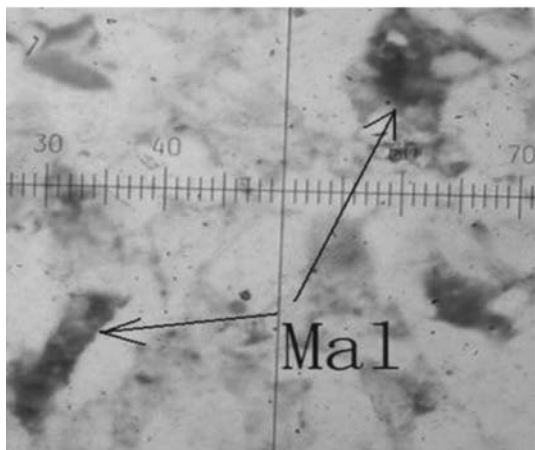


图6 隐晶质的孔雀石(Mal)。透射正交偏光, 标尺每小格 0.01 mm。



图7 白云石(Dol)成自形中晶状, 晶形呈菱形

黝铜矿; 样品中黝铜矿是矿石中主要铜矿物之一。多呈它形粒状常和白云石等共生, 包裹半包裹白云石, 呈脉状、脉状浸染状分布, 部份和斑铜矿共生, 可见斑铜矿交代黝铜矿的现象, 见图 9。部份黝铜矿中包裹细小的自形粒状的黄铁矿, 见图 10。矿石中黝铜矿的粒度变化很大, 粒度一般在 0.06 ~ 0.5 mm 左右, 最小为 0.001 mm 左右。最大为 3 mm。



图8 白云石(Dol)透射正交偏光, 标尺每小格 0.01 mm

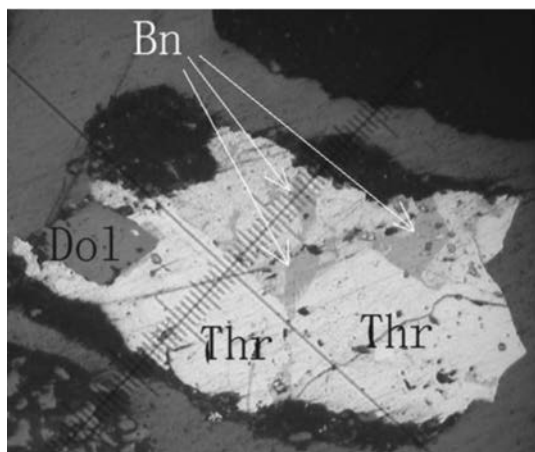


图9 黝铜矿(Thr), 斑铜矿(Bn)白云石(Dol)。反射单交偏光, 标尺每小格 0.006 mm。

斑铜矿; 样品中斑铜矿为次生硫化物, 多呈它形粒状常和白云石等共生, 充填于自形粒状的白云石间, 见图 11。常呈脉状浸染状、稀疏浸染状分布。部分斑铜矿边沿已蚀变成铜蓝, 见图 12。少数斑铜矿边沿蚀变成辉铜矿, 见图 13。斑铜矿粒度一般在 0.03 ~ 0.3 mm 左右, 最小为 0.001 mm 左右, 最大为 1 mm。

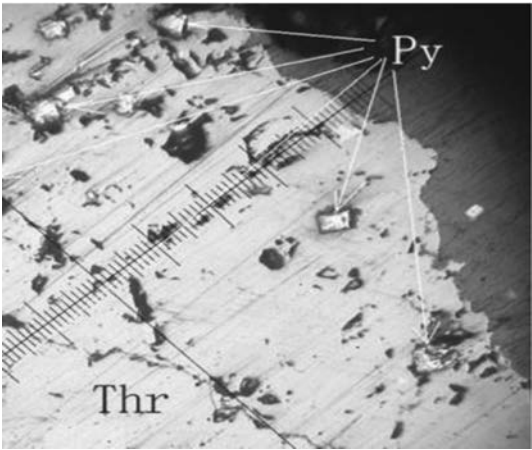


图 10 黝铜矿 (Thr) 黄铁矿 (Py)。反射单交偏光, 标尺每小格 0.006 mm。

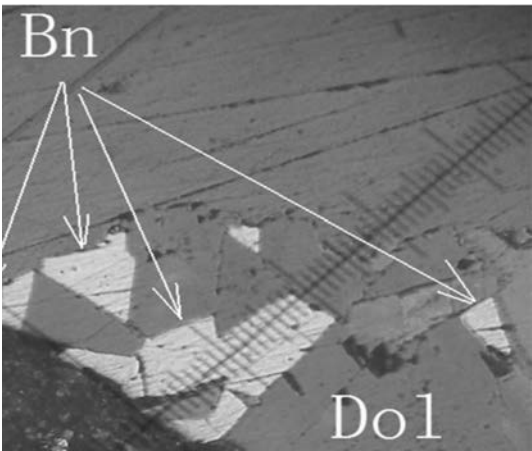


图 11 斑铜矿 (Bn)。反射单交偏光, 标尺每小格 0.006 mm。

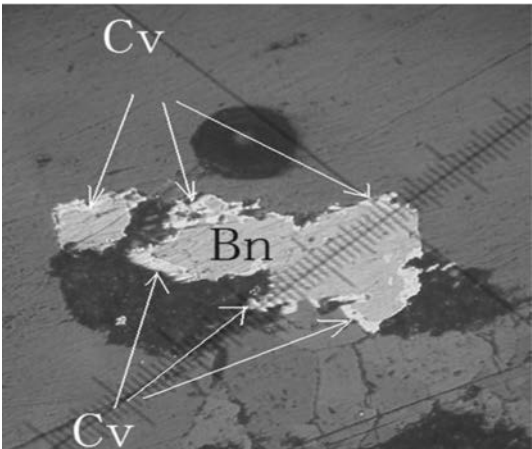


图 12 它形粒状的斑铜矿 (Bn) 反射单交偏光 标尺每小格 0.006 mm。

辉铜矿:样品中辉铜矿为次生硫化物,常由斑铜矿蚀变而成,多呈它形粒状常与斑铜矿、黝铜矿连生,常分布于斑铜矿和黝铜矿等边缘,见图 13、14。

辉铜矿粒度一般在 0.02 ~ 0.15 mm 左右,最小为 0.001 mm 左右,最大为 0.5 mm。

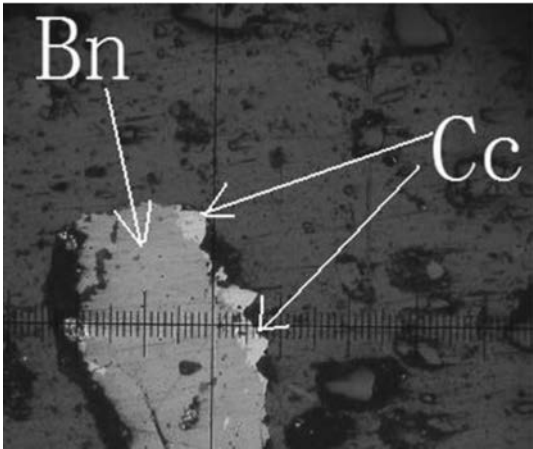


图 13 它形粒状的斑铜矿 (Bn) 和辉铜矿 (Cc) 连生。反射单交偏光标尺每小格 0.006 mm。

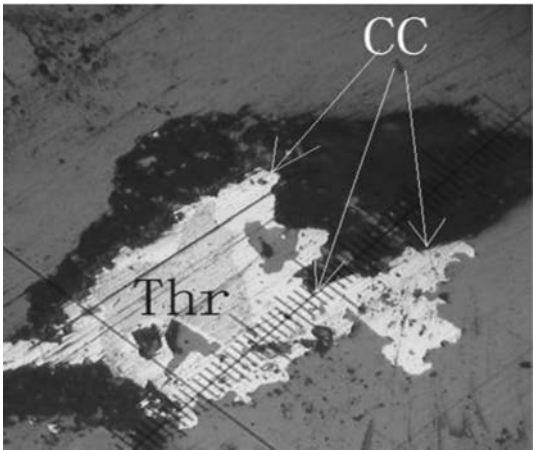


图 14 它形粒状的黝铜矿 (Thr) 和辉铜矿 (Cc)。反射单交偏光, 标尺每小格 0.006 mm。

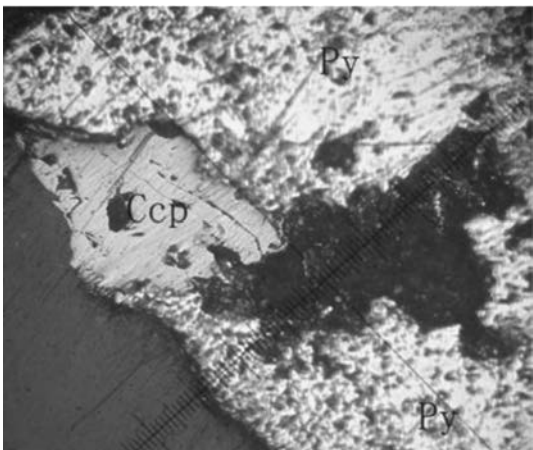


图 15 它形粒状黄铜矿 (Ccp) 和它形粒状黄铁矿 (Py) 共生。反射单交偏光, 标尺每小格 0.006 mm。

黄铜矿:样品中黄铜矿为次要的硫化铜矿物,呈它形粒状,多分布于白云石间,常和黄铁矿共生,见图 15。部分边缘蚀变成辉铜矿,见图 16。黄铜矿粒度一般在 0.02 ~0.1 mm 左右,最小为 0.001 mm 左右,最大为 0.3 mm。

黄铁矿:样品中黄铁矿为主要的硫化矿物,呈自形—它形粒状,自形粒状的黄铁矿形成较早,常被黝铜矿等包裹,它形粒状的黄铁矿粒度相对较大,多和黄铜矿共生,见图 15。矿石中多成稀疏浸染状或星点浸染状分布。黄铁矿粒度一般在 0.02 ~0.3 mm 左右,最小为 0.001 mm 左右,最大 3 mm。

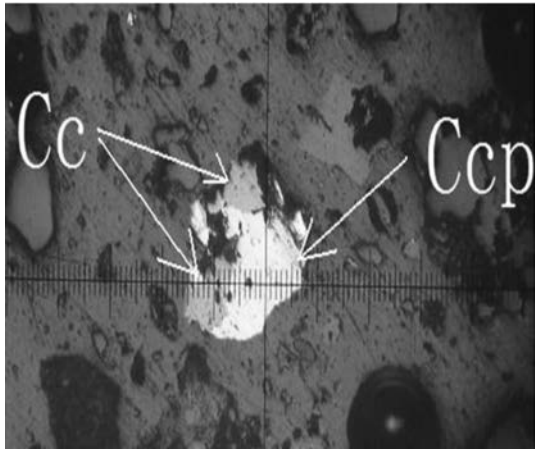


图6 它形粒状的黄铜矿(CcP)边缘蚀变成辉铜矿(Cc)。反射单交偏光,标尺每小格 0.0 06 mm。

3 样品中重要金属矿物的解离度

为考察不同磨矿细度条件下铜的主要矿物孔雀石、黄铜矿、黝铜矿的单体解离情况,采用线段法分别测定了上述金属矿物在样品中的单体解离度,结果分别见表 4。

表 4 综合样中黄铜矿等铜矿物的解离度结果 /%							
磨矿细度 -0.074 mm 含量	孔雀石		黄铜矿		黝铜矿		
	单体	连生体及脉石矿物	单体	连生体及脉石矿物	单体	连生体及脉石矿物	
55	73.09	2691	74.62	25.38	68.42	31.58	
65	79.89	20. 11	8174	18.26	72.51	27.49	
75	85.16	14.84	87.22	12. 78	7916	20.84	
85	8905	10.95	91.26	8.74	83. 07	16.93	

从表 4 中可以看出:在磨矿细度为 -74 μm 占 85%时孔雀石、黝铜矿的解离度才超过了 83%,对铜矿石的选矿而言,虽然该磨矿细度条件铜矿物的解离是比较充分的,但也说明了说明矿石中孔雀石、黝铜矿等铜矿物在磨矿是相对比较难实现单体解离,主要原因是部分铜矿物被脉石矿物吸附结晶粒度较细,相互共生造成的。

4 结论

(1)该铜矿石目的矿物复杂,铜矿物的种类繁多,矿石氧化不彻底,一部分部分孔雀呈隐晶质被微晶白云石、高岭石、绢云母等吸附,另有一部分孔雀石和褐铁矿互相浸染,共同呈它形粒状的集合体产出,氧化率和结合率高,嵌布粒度较细,这是造成该铜矿难选的主要因素。

(2)由于该矿石属于混合矿,矿石中的硫化铜矿物和氧化铜矿物的表面活性有所区别,氧化矿相对较难浮选。使用有效的氧化铜矿浮选药剂,如活化剂 D2,Na₂S 以及新型螯合剂 B - 130 等,加强对氧化铜矿的捕收是提高该铜矿回收率的有效方法。

(3)矿石中部分孔雀石和褐铁矿、绢云母等互相参杂浸染在一起,嵌布粒度较细,这部分孔雀石不易和褐铁矿、绢云母等分离,影响精矿品位。可以通过“超细磨矿—超细浮选”^[4]使矿石中孔雀石与其它组分充分解离,可能得到更好的选矿效果。

参考文献:

[1] 王濮,潘兆鲁,翁玲宝,等. 系统矿物学[M]. 北京:地质出版社,1982:274.

[2] 中国科学院地球化学研究所. 矿物 X 射线鉴定手册[M]. 北京:科学出版社,1978:57.

[3] 钱鑫,张文彬,邓彤,等. 铜的选矿[M]. 北京:冶金工业出版社,1982:253.

[4] 方建军,李艺芬. 氧化铜矿的工艺矿物学特征与选矿工艺研究[M]. 云南冶金,2005,34(4); 50 - 53.

[5] 《矿产资源综合利用手册》编辑委员会. 矿产资源综合利用手册[M]. 北京:科学出版社,1999.

[6] 《选矿手册》编委会选矿手册(第一卷)[M]. 北京:冶金工业出版社1991.