

doi:10.3969/j.issn.1671-9492.2020.04.003

工艺矿物学在选厂流程优化中的作用

叶小璐, 肖仪武

(矿冶科技集团有限公司, 北京 100160)

摘 要:选矿流程产品的工艺矿物学研究可在矿石性质变化、选厂技术改造时为工艺流程的改进提供方向和依据。内蒙某铜铅锌锡多金属矿生产中在锌硫作业中银和铜损失率分别为 13.10% 和 15.64%。为最大限度地提高资源综合利用价值,选择锌硫混合精矿为研究对象,通过赋存状态研究确定了铜、银回收的目的矿物;通过铜、银矿物嵌布关系密切判断出铜、银走向一致,可同步富集。在此基础上,根据黝铜矿、黄铜矿、铜矿物集合体的单体解离度仅为 12.84%、33.65% 和 25.40%,但铜矿物集合体粒度较粗的特点,提出了对铜矿物集合体再磨,获得银铜精矿的技术方案。最终选矿工艺通过提高再磨细度获得了银品位 2 699 g/t、铜品位为 10.02% 的高品位银铜精矿,实现了将锌硫混合精矿中原本损失的铜、银加以回收的目的。

关键词:选矿流程产品;工艺矿物学;锌硫混合精矿;银铜精矿

中图分类号:TD 91

文献标志码:A

文章编号:1671-9492(2020)04-013-05

Application of Process Mineralogy for Process Optimization in Concentrator Plant

YE Xiaolu, XIAO Yiwu

(BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China)

Abstract: Process mineralogy for products from mineral processing can give a direction to technology improvement when changes of ore property happen, or when optimization and reconstruction of dressing plant is necessary. In a Cu-Pb-Zn-Sn polymetallic deposit in Inner Mongolia, percentage of loss for Ag and Cu is 13.10% and 15.64% respectively in the part of Zn-S bulk flotation. To maximize resources comprehensive utilization value, a process mineralogy study has been done focus on Zn-S bulk concentrate. Through occurrence study, the target minerals of silver and copper are indicated. Because of their close relationship, it is possible to concentrate Cu-minerals and Ag-minerals together. Based on above results; and also the liberation degree of tetrahedrite, chalcopyrite, and Cu-minerals assemblage, which is 12.84%, 33.65% and 25.40% respectively; the grain size distribution of Cu-minerals assemblage, which is coarse, a technical proposal is proposed, which advices through add re-grinding work focusing on Cu-minerals assemblage into process to achieve a Ag-Cu concentrate. The beneficiation tests show that a high grade Ag-Cu concentrate can be achieved through increase re-grinding fineness, achieving the aim that recycle Ag and Cu losing in Zn-S bulk concentrate.

Key words: mineral processing products; process mineralogy; Zn-S bulk concentrate; Ag-Cu concentrate

选矿生产技术指标的优劣,一方面取决于矿石性质,另一方面取决于选矿工艺流程的合理性及设备作业效果的可靠性^[1]。为了查明技术指标低的原因,必须进行技术改造,此外随着技术、认识和经济价值的变化,有时也需要对现行的流程进行技术改

进。在这些情况下,选矿产品的工艺矿物学研究,具有重要的作用。

内蒙某铜铅锌锡多金属矿中锌硫混合粗精矿中含有一定量的铜银矿物,如何有效地综合利用这份资源,进行了工艺矿物学研究。通过查明锌硫混

收稿日期:2019-08-09

作者简介:叶小璐(1991—),女,云南昭通人,硕士,工程师,主要从事工艺矿物学研究工作。E-mail: xiaolu91gz@163.com

合粗精矿中的各项工艺矿物学指标,为从锌硫混合粗精矿中有效回收铜、银矿物选矿工艺流程的制定提供方向和技术支撑。

1 原生产流程及存在的问题

该矿目前采用“铜铅混浮—铜铅分离—锌硫混浮—锌硫分离—重选锡石”的工艺流程分别获得铜铅(银)精矿、锌精矿、硫精矿和锡精矿,选厂选矿工艺流程图如图 1 所示。

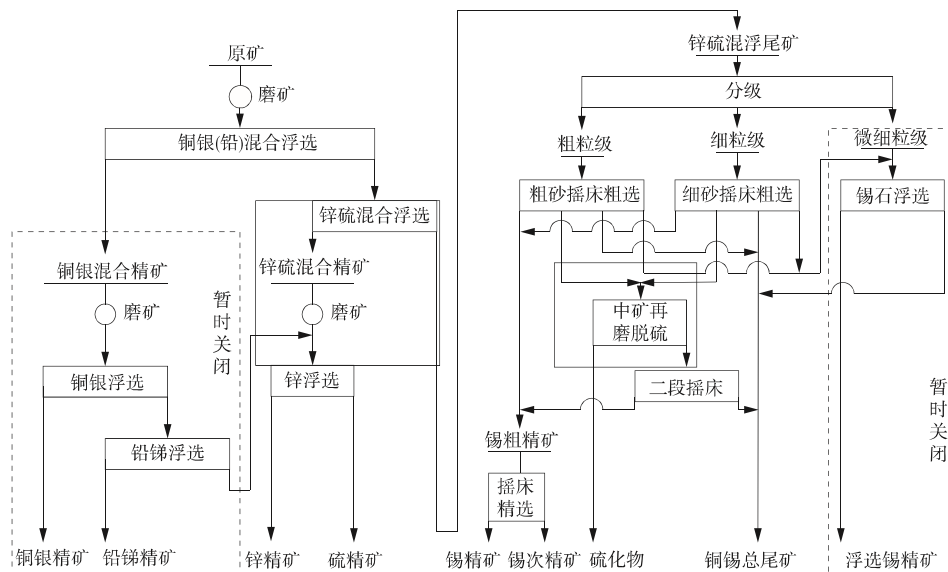


图 1 现场工艺流程图

Fig. 1 Principle flowsheet in the plant

2 化学成分

表 1 是锌硫混合精矿化学成分分析结果,由化学分析结果可知,锌硫混合精矿中 Cu 的含量为

表 1

锌硫混合精矿化学成分分析结果

Table 1

Result of chemical composition for Zn-S concentrate

/%

化学成分	Cu	Pb	Zn	Sb	Sn	S	Fe	As
含量	0.60	0.52	7.62	0.55	0.98	33.80	28.30	3.32
化学成分	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Ag ¹⁾
含量	17.05	0.50	0.10	2.80	0.29	0.24	0.10	228.72

注:1)单位为 g/t,下同。

3 锌硫混合精矿矿物组成

产品中的主要金属矿物为黄铁矿(含白铁矿),其次为闪锌矿和毒砂;少量的黄锡矿、脆硫锑铅矿、锡石、黝铜矿、辉锑矿、褐铁矿;微量的方铅矿、黄

根据选厂生产指标统计数据计算出的实际回收率平衡表显示在锌硫混浮-锌硫分离作业环节中,锌精矿中的银、铜的损失回收率分别为 13.10% 和 15.64%。这些损失在锌精矿、硫精矿中铜银无法计价。为了尽可能地提高资源利用的价值,需要通过

对锌硫混合精矿进行工艺矿物学研究,评价通过优化选矿工艺流程达到将这一部分损失的铜、银加以回收的可能性。基于上述目的,选择锌硫混合作业中的锌硫混合精矿作为研究对象。

0.60%,Pb 的含量 0.52%,Zn 的含量 7.62%,Ag 含量 228.72 g/t。该锌硫混合精矿中的铜、银含量较高,如果能将此部分的铜、银加以回收,将有效提高生产效益。

铜矿;偶尔可见辉银矿、辉银锑铅矿、硫锑铜银矿等。脉石矿物主要为石英,其次为电气石、高岭石;少量的绢云母、钾长石、萤石、绿泥石、钠长石;微量的金红石等其他矿物^[2-3]。矿物组成及相对含量见表 2。

表 2 锌硫混合精矿矿物组成及相对含量

Table 2 Mineral composition and relative content for Zn-S concentrate /%

矿物名称	含量	矿物名称	含量
黄铁矿	50.15	电气石	4.20
闪锌矿	13.44	褐铁矿	2.50
毒砂	7.21	高岭石	2.36
黄锡矿	1.60	绢云母	1.67
脆硫锑铅矿	1.04	钾长石	1.07
锡石	0.69	萤石	0.98
黝铜矿	0.29	绿泥石	0.96
辉锑矿	0.23	钠长石	0.85
方铅矿	0.12	金红石	0.17
黄铜矿	0.07	其它	0.18
石英	10.21		

4 银、铜回收的目的矿物及选别过程的走向

4.1 银的赋存状态及回收的目的矿物

通过 MLA 和扫描电子显微镜对样品中的含银矿物进行研究^[4],发现主要的含银矿物为黝铜矿,Ag 含量主要在 7%~13%。部分黝铜矿的 X-射线能谱分析见表 3。此外还有微量硫化银矿物,包括硫锑铜银矿、辉银矿、辉银铅锑矿等。

表 3 黝铜矿的 X-射线能谱数据分析

Table 3 Result of SEM-EDS for tetrahedrite chemical composition /%

序号	Cu	Sb	S	Fe	Zn	Ag ⁽¹⁾
1	32.11	27.02	22.29	5.58	1.28	11.72
2	32.96	25.67	21.45	5.93	3.56	10.43
3	30.87	26.98	23.68	5.59	2.04	10.84
4	31.64	27.15	22.51	1.05	4.76	12.89
5	32.11	27.93	22.63	5.47	4.02	7.84
6	34.37	28.16	23.70	2.53	2.99	8.25
7	36.98	27.30	15.79	6.10	6.48	7.35
8	32.20	26.57	23.11	0.66	7.38	10.08
9	28.11	26.94	23.01	2.19	3.81	15.94
10	35.40	25.74	20.91	3.18	6.13	8.64
11	29.88	25.29	23.18	6.61	2.33	12.71
12	32.08	26.69	22.96	1.19	7.73	9.35
13	29.48	27.45	23.74	0.31	5.71	13.31
14	31.19	26.79	22.44	4.61	3.69	11.28
15	32.08	24.42	24.16	6.71	2.90	9.73
16	30.97	25.00	25.06	7.28	4.31	7.38
17	31.33	23.79	24.22	8.24	2.33	10.09
18	34.44	27.18	23.00	3.89	3.71	7.78
19	33.58	27.51	22.05	6.51	4.05	6.30
20	31.79	25.60	23.83	6.40	2.85	9.53

因此,银绝大部分以类质同象形式分布在黝铜矿中,偶见分布于硫锑铅银矿、硫锑铜银矿和辉银矿中。银回收最主要的目的矿物为黝铜矿。

4.2 铜的赋存状态及回收的目的矿物

该产品中的含铜矿物主要有黝铜矿、黄铜矿和黄锡矿。对于铜的回收,黝铜矿和黄铜矿具回收价值。由表 4 可知,有大约 40% 的铜赋存在黝铜矿和黄铜矿中,其中在黝铜矿中的占 30.50%。因此回收铜最主要的目的矿物为黝铜矿,其次为黄铜矿。

表 4 铜元素的平衡计算

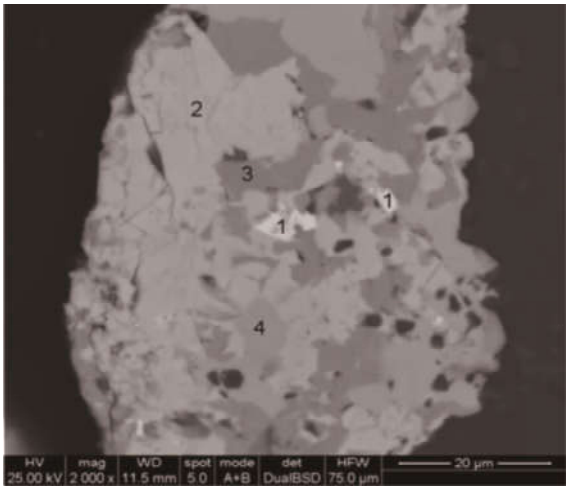
Table 4 Balance computation for Cu /%

矿物名称	矿物相对含量	铜平均含量	金属量 ⁽¹⁾	占有率
黝铜矿	0.56	32.68	0.18	30.50
黄铜矿	0.14	34.56	0.05	8.06
黄锡矿	1.24	29.73	0.37	61.44
合计			0.60	100.0

4.3 银、铜目的矿物的嵌布特征

由银、铜的赋存状态研究可知,回收银和铜的目的矿物主要都为黝铜矿。回收银的目的矿物还包括微量的硫化银矿物,回收铜的目的矿物则还有少量黄铜矿。

硫化银矿物的粒度细,主要分布在 5~10 μm,基本都与黝铜矿之间存在密切的连生关系(图 2)。因此,在选别过程中它们将与黝铜矿的走向一致。



1—辉银矿;2—黝铜矿;3—黄铜矿;4—黄锡矿

图 2 微细粒辉银矿被包裹在黝铜矿中
扫描电子显微镜

Fig. 2 Fine grain argentite is covered in tetrahedrite SEM

黝铜矿同样与黄铜矿之间存在密切的连生关系,常见二者交错连生后被包裹在脉石、闪锌矿等矿物中(图 3)。因此,对于黝铜矿和黄铜矿而言,将二者富集在同一产品中也是可行的。

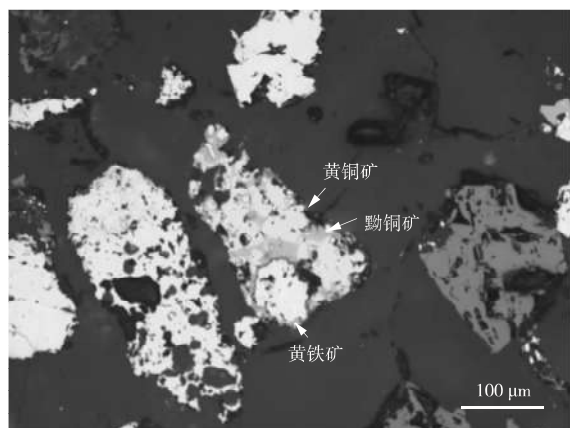


图3 黄铜矿与黝铜矿、黄铁矿连生 显微镜 反光

Fig. 3 Intergrowth between chalcopyrite tetrahedrite and pyrite Microscope Reflect

根据上述所述的铜、银矿物的嵌布特征,在选别过程中,将铜、银矿物视为一体进行处理,可在磨矿

中降低磨矿成本

5 铜矿物及其集合体的解离度、粒度特征对再磨作业的指示意义

5.1 黝铜矿和黄铜矿的解离度特征

根据前述内容可知,铜、银回收的目的矿物为黝铜矿和黄铜矿。因此,分别对黝铜矿和黄铜矿的解离度进行了研究,结果分别见表5和表6。

黝铜矿的单体解离度仅为12.84%,黄铜矿的单体解离度仅为33.65%,但同时要注意到黝铜矿中与黄铜矿连生的比例高达32.55%,而在黄铜矿中,与黝铜矿的连生比例也达到了10.59%。前述研究中也提到了,二者在选别过程中走向一致,因此在磨矿过程中,并不需要特别强调黄铜矿和黝铜矿之间的完全解离,可将二者视为一个整体,考虑其磨矿的必要性和可行性。

表5

黝铜矿的解离度特征

Table 5

Liberation degree of tetrahedrite

/%

矿物	单体	连生体					
		与黄铜矿	与脉石	与锌矿物	与铅矿物	与硫矿物	与黄锡矿
黝铜矿	12.84	32.55	28.32	11.93	3.47	6.58	4.30

表6

黄铜矿解离度特征

Table 6

Liberation degree of chalcopyrite

/%

矿物	单体	连生体					
		与黝铜矿	与脉石	与锌矿物	与铅矿物	与硫矿物	与黄锡矿
黄铜矿	33.65	10.59	17.31	9.64	7.33	14.33	7.14

5.2 铜矿物集合体的解离度和粒度特征

将黝铜矿和黄铜矿视为一个整体后的铜矿物集合体的单体解离度情况如表7所示。

由表7可知,铜矿物集合体的单体解离度仅为25.40%,有32.45%的铜矿物集合体与脉石连生,另有15.50%与锌矿物连生,有15.13%与硫矿物连生。需要通过再磨促进铜矿物集合体与这些矿物的有效解离,才可能让铜矿物集合体从锌硫精矿中分离富集,形成铜银精矿成为可能。

制约再磨可行性的另一个条件为目的矿物的粒度,故对铜矿物集合体的粒度分布情况进行了系统的测量。铜矿物集合体的粒度组成情况如图4所示。由图4可知,铜矿物集合体的粒度相对较粗,主要分在0.02~0.104 mm, +0.043 mm达到69.21%,具再磨的空间。

表7

铜矿物集合体的解离度特征

Table 7

Liberation degree of Cu-minerals aggregation

/%

矿物	单体	连生体				
		与脉石	与锌矿物	与铅矿物	与硫矿物	与黄锡矿
铜矿物	25.40	32.46	15.50	5.97	15.13	5.54

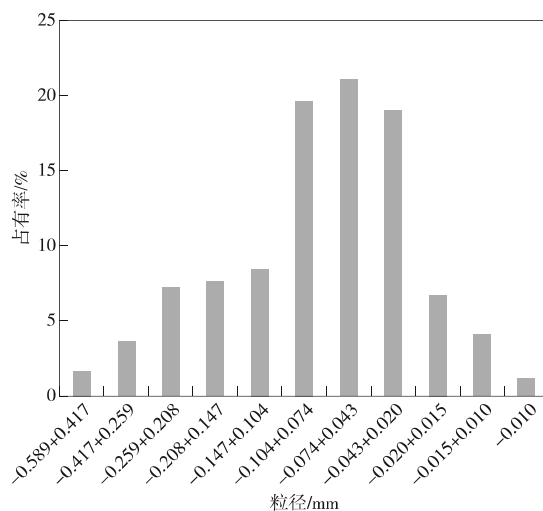


图4 铜矿物集合体的粒度分布

Fig. 4 Grain size distribution of Cu-minerals aggregation

铜矿物集合体的粒度分布结果显示由于铜矿物集合体的粒度并不太细,不会造成已经解离的部分过磨。同时,通过再磨能让一些粒度适合浮选的连生

(下转第33页)