

矿物解离度与工艺粒度关系和解离难易度探讨

洪秉信, 傅文章

(中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041)

摘要:矿物解离是选矿的必要条件之一,矿物工艺粒度、磨矿粒度以及矿物力学性质等诸多因素对矿物解离度都有影响,这些因素致使解离度和工艺粒度之间关系复杂化。本文以电炉渣黑钛石工艺粒度和解离度关系为例,研究矿物解离度与工艺粒度及矿石磨矿粒度之间的关系。并通过不同矿石破磨解离实例,探讨了矿石解离难易程度分类,用以表示矿物力学性质对解离度的影响。

关键词:工艺粒度;磨矿粒度;矿物解离度;相互关系;解离难易程度

中图分类号:P616.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2012)01-0056-05

众所周知,工艺矿物学在选冶试验中有着重要的地位和作用^[1-2]。矿物工艺粒度、矿物解离度对选矿的重要性更是不言而喻。由于矿物单体解离是选矿工艺实现的基本要求和必要条件,早在40多年前工艺矿物学没有形成独立学科时,解离度测定就已经大量以产品检查形式进行。至上世纪70代,工艺矿物学形成初始,作为影响解离度的重要性质——矿物工艺粒度,也是最早引起人们重视和最早引入的基本概念。随后的几十年中,人们围绕这一概念开展了一系列理论上和方法上的研究^[3-4]。这其中,包括上世纪80年代中期由我们提出的分选单位概念,从一定意义上讲,也可以视为矿物工艺粒度概念上的扩展^[5-6]。这是因为,分选单位提出,将分选目标由一种矿物扩大至多种矿物集合体,目的也是围绕着把矿物工艺粒度放大,实现磨矿细度降低条件下获得较高单体解离度。然而,如此重要的矿物工艺粒度和单体解离度,尽管它们之间明显存在着正变关系,却始终未能给出明确的数学关系。究其原因,矿物解离除了涉及到目的矿物工艺粒度,还涉及该矿物和镶嵌矿物的力学性质,磨矿方式和磨矿粒度等诸多因素,使矿物工艺粒度和矿物解离性质之间关系复杂化。其次,由于矿物力学性质涉及到如晶体形态、大小、解理、硬度、脆性、韧性、界面形态、晶粒内结合力和界面结合力对比等许多方面,至今没有能够直接计量的方法,以致人们虽然知道它们对矿物解离的影响,却依然只能把它们搁置一

旁。一般情况下,以矿物工艺粒度大小作为解离难易的标准;少数情况下,辅以矿物界面平直程度定性说明。但是,工艺粒度相近而且界面同样平直的矿石,在同样磨矿条件下,解离度有时仍然有明显差异。因此,尽管工艺矿物学工作者已经详尽统计出矿物工艺粒度,选矿工作者依然需要在较大范围内进行磨矿粒度试验,并分别测定不同磨矿粒度条件下的矿物解离度。这样,势必增大磨矿试验和解离度测定的工作量,使工艺粒度实用性大打折扣。

作者在长期工作实践基础上,通过黑钛石矿物工艺粒度统计、磨矿试验、解离度测定,选择适当参数,建立矿物单体解离度和工艺粒度的数学关系。同时,在阐明上述关系的基础上,通过举证不同解离性质矿石的实例,讨论矿石解离难易程度。

1 矿物解离度和工艺粒度关系研究

1.1 试验样品和黑钛石工艺粒度

研究对象选择冶炼条件相似、矿物组成相同、结晶粒度相近的一组电炉渣,编号分别为DLZ101、DLZ106和DLZ117。它们之中,目的矿物为黑钛石固溶体(含量59%~63%),脉石矿物为钛辉石(含量26%~30%)和尖晶石(含量9%~10%)。微量塔基石、金属铁、硫化物等(含量1%~2%)^[7]。

根据黑钛石长柱状晶形及其在磨矿产品中的形态,统计中以其切面上视宽作为黑钛石工艺粒径。黑钛石工艺粒度统计结果见表1。工艺粒度累计曲

收稿日期:2011-04-22; 改回日期:2011-06-22

作者简介:洪秉信(1943-),男,研究员,主要从事工艺矿物学研究工作。

线和分布曲线分别见图 1~2。图 1、图 2 中,横坐标均为粒度 d ;纵坐标为粒度累计百分比和分布百分比 n 。根据表 1 和图 1、图 2,求出工艺粒度分布

参数见表 2。由表 2 可知,黑钛石的平均粒度在 $100 \sim 120 \mu\text{m}$ 左右,主级别 $d_{\text{众}} \approx 80 \mu\text{m}$ 左右, d_{50} 略大于 $d_{\text{众}}$, d_{75} 在 $70 \mu\text{m}$ 左右。

表 1 各样品黑钛石工艺粒度

粒级/ μm		-400+350	-350+300	-300+250	-250+200	-200+150	-150+100	-100+50	-50+20	-20
DLZ101	各级/%	0.00	0.00	0.00	1.82	7.34	28.18	52.52	9.46	0.68
	累计/%	0.00	0.00	0.00	1.82	9.16	37.34	89.86	99.32	100.00
DLZ106	各级/%	0.43	1.50	3.69	9.40	16.98	25.51	32.92	8.03	1.54
	累计/%	0.43	1.93	5.62	15.02	32.00	57.51	90.43	98.46	100.00
DLZ117	各级/%	0.00	1.41	2.09	4.15	12.79	29.58	39.62	9.16	1.20
	累计/%	0.00	1.41	3.50	7.65	20.44	50.02	89.64	98.80	100.00

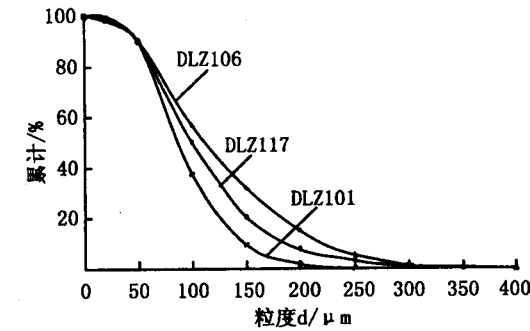


图 1 黑钛石工艺粒度累计曲线

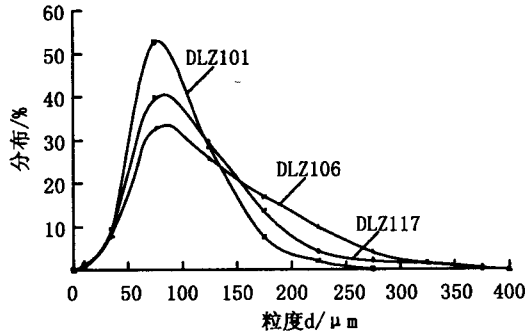


图 2 黑钛石工艺粒度分布曲线

表 2 黑钛石工艺粒度分布参数/ μm

样品名称	d_{75}	d_{50}	d_{25}	d_{max}	d_{min}	$d_{\text{众}}$	$d_{\text{平均}}$
DLZ101	65	87	117	250	2	75	95
DLZ106	73	112	168	400	2	80	127
DLZ117	70	100	140	350	2	85	112

1.2 黑钛石解离度测定

1.2.1 样品准备

经过磨矿试验,确定合理的磨矿介质配比和磨矿时间。按照试验确定的磨矿条件,将三件试验样品分别磨至 -0.074mm 、 -0.065mm 、 -0.045mm 和

-0.030mm 。然后,用 0.065mm 、 0.045mm 、 0.030mm 分析筛将各磨矿产品筛分为若干级别。称重后,从各级别中缩分出简项分析样品和解离度测定样品,并磨制砂光片,用于矿物定量和解离度测定。

1.2.2 解离度测定

解离度使用线法在中高倍显微镜下按照五分法测定。所测单体为切面单体,所测不同比例连生体均为切面连生体,未经计算校正。黑钛石解离度测定结果见表 3,表 3 中各样品解离度数值均为其筛析产品中黑钛石的加权平均值。

表 3 各磨矿产品中黑钛石的解离状态

粒度上限 /mm	样品 名称	单体 /%	连体/%				
			$\geq 3/4$	$3/4 \sim 1/2$	$1/2 \sim 1/4$	$< 1/4$	
	DLZ101	48.52	32.70	10.92	4.06	3.80	
-0.074	DLZ106	57.17	28.42	7.23	5.10	2.08	
	DLZ117	58.79	27.86	7.60	3.02	2.73	
	DLZ101	58.88	25.12	10.04	4.34	1.62	
-0.065	DLZ106	67.68	19.74	6.40	3.77	2.41	
	DLZ117	66.14	21.17	6.74	3.36	2.59	
-0.045	DLZ117	81.94	11.15	2.79	2.18	1.94	
-0.045	混合样	80.02			19.98		
-0.0385	混合样	82.78	9.57	3.70	2.90	1.05	

1.3 单体解离度和工艺粒度及磨矿粒度的关系

无论从理论上还是磨矿实践,都证明矿物单体解离度和矿物工艺粒度呈正变关系。即同一类型矿石的同一矿物,在磨矿粒度不变的条件下,单体解离度随着工艺粒度增大而升高。其次,矿物单体解离度和磨矿细度呈正变关系。即对于矿石中同一矿物,随着磨矿细度提高,单体解离度增高。

但是,目的矿物在矿石中并不是孤立存在,而是

和其他矿物以组合形式产出。矿物工艺粒度不是一个具体数值而是一个粒度群。磨矿产品也是一个粒度群而不是一个具体数值。因此,能否正确地将上述正变关系用数学式定量表达,关键在于能否从两个粒度群的诸多参数中选择出适当的参数。

经研究,作者最终选择磨矿上限粒度 d , 将其作为矿物工艺粒度累计曲线图上的横坐标, 以该横坐标所对应的累计百分数 n 值为参数, 建立黑钨石单体解离度和工艺粒度及磨矿粒度的关系。按照这一设想, 并根据表 3 和表 1 数据, 绘制黑钨石单体解离度和工艺粒度及磨矿粒度上限之间关系见图 3。

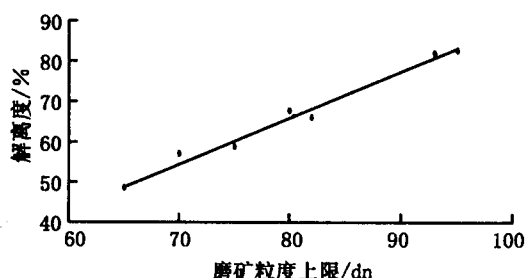


图3 黑钨石单体解除离度—磨矿粒度(dn)关系

从图 3 可以清楚地看出, 矿物单体解离度和磨矿粒度上限在粒度试验范围内具有线性关系, 相关方程为:

$$y = -25.5839 + 1.1447dn \quad \text{相关系数 } r = +0.9918$$

9918

式中: y —单体解离度, dn —磨矿粒度上限 d 值所对应的累计曲线上点的纵坐标 n 值。

图 3 及其相关方程虽然是通过电炉渣黑钨石磨矿解离试验获得, 但是, 该方程揭示的却是矿物解离度和工艺粒度关系的一般规律。按照这一规律推测, 对于解离难易不同的矿石, 在单体解离度介于 50% ~ 82% 条件下, 解离度和工艺粒度及磨矿粒度关系的一般表达式可写为:

$$y = b + kdn$$

式中: y —单体解离度, dn —矿物工艺粒度累计曲线上磨矿粒度上限 d 对应的纵坐标 n 值, b —截距, k —系数。其中, b 和 k 取决于矿石解离性质。

2 矿石解离难易程度举例

矿物工艺粒度粗细是决定矿物单体解离度重要的因素之一, 这是显而易见和毫无疑问的。那么, 对于工艺粒度相当的矿物, 采用同一磨矿粒度, 是否能

获得相近的单体解离度呢? 回答是否定的。因为, 不同矿物, 或同一个矿物在不同共生组合条件下解离性质不同。

简而言之, 当目的矿物和相邻矿物之间结合力大大小于矿物内部结合力时, 可以视界面结合力 $f_{\text{界面}} \approx 0$ 。这种情况下, 以 d_{max} 作为破磨粒度上限即可获得百分之百的单体解离度。反之, $f_{\text{界面}} > f_{\text{晶内}}$, 则需要磨至“无限小”才能获得百分之百的单体解离度。由此可见, 在建立和阐明单体解离度和工艺粒度及磨矿粒度相关关系之后, 为了使矿物工艺粒度测定结果能够得到有效使用, 有必要引入矿石解离难易程度的概念。

2.1 湖北宜昌磷矿磷块岩条带解离度和工艺粒度及破磨粒度的关系

磷块岩条带和脉石条带宽度统计结果列于表 4^[8], 工艺粒度参数见表 5。

表4 湖北宜昌磷矿磷块岩和脉石条带
工艺粒度含量

粒级 /mm	-70 +50	-50 +30	-30 +15	-15 +8	-8 +4	-4 +2	-2
磷块岩 条带/%	0.44	3.89	17.54	30.46	30.63	14.16	2.88
脉石条带 /%	0.25	11.08	23.87	21.3	15.01	9.06	19.43

表5 湖北宜昌磷矿磷块岩和脉石条带
工艺粒度参数/mm

条带名称	d_{75}	d_{50}	d_{25}	d_{max}	d_{min}	$d_{\text{众}}$	$d_{\text{平均}}$
磷块岩条带	7	8.5	13.5	70	0.2	8	11.56
脉石条带	3	9.8	20	70	0.2	19	13.77

由表 5 可知, 宜昌磷矿中磷块岩条带 $d_{75} = 7\text{mm}$, $d_{\text{平均}} \approx 12\text{mm}$ 。但是, 当矿石破碎至 15mm 时, 磷块岩条带单体解离度即可达到 90% 以上。这一粒度大于磷块岩条带的平均宽度, 并对应于磷块岩工艺粒度的 d_{22} 。也就是说, 在矿石中只有 22% 磷块岩条带宽度大于破磨粒度上限条件下, 其单体解离度就能达到 90% 以上。

2.2 红格北矿区主要矿物单体解离度和工艺粒度/磨矿粒度的关系

攀枝花—西昌地区钒钛磁铁矿中, 红格是其储量最大矿区。红格北矿区原生矿表内矿中主要矿物工艺粒度列于表 6, 工艺粒度参数列于表 7^[9]。

表 6 红格钒钛磁铁矿主要矿物工艺粒度含量

粒级/mm	-4+2	-2+1	-1+0.5	-0.5+0.25	-0.25+0.10	-0.10+0.074	-0.074+0.044	-0.044
钛磁铁矿/%		0.13	4.99	37.18	51.68	1.86	2.90	1.26
钛铁矿/%		2.02	17.89	48.34	28.45	1.66	1.06	0.58
脉石/%	20.04	29.95	22.27	14.35	8.24	2.51	1.5	1.14

表 7 红格钒钛磁铁矿矿物工艺粒度参数/mm

矿物名称	d ₇₅	d ₅₀	d ₂₅	d _{max}	d _{min}	d _κ	d _{平均}
钛磁铁矿	0.17	0.22	0.32	2	0.01	0.20	0.27
钛铁矿	0.22	0.31	0.46	2	0.01	0.37	0.40
脉石	0.46	1.00	1.80	4	0.01	1.50	1.29

单体解离度测量表明,该矿石磨至 -0.154mm 时,矿石中钛磁铁矿和钛铁矿单体解离度可达 80% 左右。对照表 6、表 7 可知,这一粒度约相当于钛磁铁矿平均粒径的 0.6 倍,钛铁矿平均粒径的 0.4 倍;约对应于钛磁铁矿的 d₈₀ 和钛铁矿的 d₇₅。也就是说,在矿石中约有 80% 的钛磁铁矿和 75% 的钛铁矿大于磨矿粒度上限条件下,它们单体解离度才能达到 80% 左右。这一单体解离度和磨矿粒度的对应关系,在攀西地区其他原生矿中也多次得到验证。

显然,钒钛磁铁矿原生矿石中钛磁铁矿和钛铁矿解离,要比宜昌磷矿磷块岩条带难得多。

2.3 电炉渣黑钛石解离度和工艺粒度及磨矿粒度的关系

电炉渣解离度和工艺粒度及磨矿粒度的关系在本文第 1 节已详细论述。根据第 1 节论述不难看出,当磨矿粒度上限相当于黑钛石工艺粒度的 d₈₀ 时,黑钛石单体解离度仅有 65% 左右。要获得 80% 的单体解离度,磨矿粒度上限需要细至 d₉₀ 左右。即,在 90% 以上晶粒宽度大于磨矿粒度上限条件下,黑钛石单体解离度才能达到 80% 左右。

由此可见,电炉渣黑钛石解离,要比攀西钒钛磁铁矿原生矿又难得多。

2.4 矿石解离难易程度分类

上述 3 个实例说明,通过同一解离度时 n 值的大小,可以表示矿物力学性质不同导致的解离性质不同。因此,以同一单体解离度时 n 值变化范围,可以对矿石解离难易程度进行分类。并且,这种解离难易程度和矿物工艺粒度大小没有直接关系,而只和矿物(矿石)力学性质有关。

矿石解离难易程度分类,促使人们在选矿和工艺矿物学研究中积累资料,建立矿石难易数据库。

这一积累过程一经完成,人们就可以通过数据库判断研究对象解离难易,然后根据测得的矿物工艺粒度选择磨矿粒度。这样,将会减少磨矿粒度选择的盲目性。在目前尚无更多研究成果充实的情况下,建议以矿物单体解离度 80% 为标准。当主要目的矿物解离度达到 80% 时,按照其磨矿粒度上限所对应的 dn 大小划分磨矿难易程度见表 8。

表 8 矿石解离难易程度分类

解离难易程度	极易	易	一般	难	极难
n 值	<55	55~75	75~85	85~95	>95

显然,按照表 8 分类,电炉渣属于难解离矿石,钒钛磁铁矿原生矿属于一般难易程度矿石,湖北宜昌磷矿属于极易解离矿石。随着资料积累,在有了更多的矿石类型解离粒度测定后,可以根据实际情况,对表 8 中 n 值进行适当调整。

3 结 语

1. 矿物工艺粒度是矿物解离度主要影响因素之一。矿物工艺粒度和矿物单体解离度之间在实验范围内呈线性相关关系。

2. 矿石矿物组成的复杂性决定仅仅依靠工艺粒度不能完全表达矿物解离难易程度。矿物力学性质是影响矿物单体解离度的另一重要因素。然而这一影响因素非常复杂,迄今尚不能直接测定并通过一个或一组数据表示。通过矿石解离难易程度分类,可以从宏观上表达矿石这一性质。

3. 引入矿石解离难易程度概念,将矿石划分为解离难易程度不同的类型,有助于根据矿物工艺粒度大小,在较小范围内选择适当粒度进行磨矿试验。这将有利于提高矿物工艺粒度数据的利用效果,降低磨矿粒度试验盲目性,减少磨矿试验和解离度测定的工作量。

参考文献:

[1] 傅文章,洪秉信. 工艺矿物学在选冶中的地位和作用 [A]. 第六届全国工艺矿物学学术会议论文集 [C]. 北京:中国选矿科技情报网工艺矿物网等,1995.

- [2] 洪秉信, 傅文章. 工艺矿物学在选矿中的应用[A]. 第六届全国工艺矿物学学术会议论文集[C]. 北京: 中国选矿科技情报网工艺矿物网等, 1995.
- [3] 吴本美, 等. 攀枝花钒钛磁铁矿工艺矿物学[M]. 成都: 四川科技出版社, 1998.
- [5] 洪秉信, 黄亚琴. 宜昌店子坪磷矿矿石工艺特征[J]. 矿产综合利用, 1987(4): 61-65.
- [6] 洪秉信. 磷块岩工艺矿物学研究中的几个问题[J]. 矿产综合利用, 1992(3): 45-50.
- [7] 洪秉信, 傅文章, 等. 钒钛磁铁矿电炉冶炼渣物质组成及其缓冷渣解离性质研究[R]. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 2009.
- [8] 洪秉信, 黄亚琴, 等. 宜昌磷矿重介质选矿联合流程试验研究之原矿工艺矿物学研究[R]. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 1988.
- [9] 傅文章, 洪秉信, 等. 红格北矿区钒钛磁铁矿工艺矿物学研究报告[R]. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 2003.

Discussion on Relationship between Liberation Degree of Mineral and Processing Size and Difficult Level of Liberation

HONG Bing-xin, FU Wen-zhang

(Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: Mineral liberation is one of the necessary conditions for mineral processing technology and mineral processing size, grinding size and mechanical properties are the most important factors influencing mineral liberation. These factors make the relationship between liberation degree of mineral and processing size complicated. This paper took the relationship between the processing size and the liberation degree of anosovite as example to study their relation. On the basis of it, through the liberation of different ores, the classification of difficult and easy level of liberation was discussed to represent the effect of mechanical properties on the degree of liberation.

Key words: Processing size; Grinding size; Degree of liberation of mineral; Relationship; Difficult and easy level of liberation

(上接 42 页)

的有用金属为铁、钛、钒、硫钴。钒、钛属国家稀缺、重要的战略性物资,是世界公认的稀有资源,但目前综合回收的选矿生产指标还不是很理想,如钛精矿品位只有 47% 左右,回收率只有 35% 左右,如何进一步提高产品的品位和回收率指标,是选矿工作者需要继续攻关的课题。

2. 在选矿设计中必须密切与现场实际生产情况相结合,把以往生产中出现的在设计中得到解决,为选矿厂顺利投产奠定基础。

3. 采用了高压辊磨工艺,经过工业生产验证可大大降低选厂的碎磨成本,提高选厂的经济效益。

参考文献:

- [1] 太和铁矿选钛试验报告[R]. 成都: 地质矿产部矿产综合利用研究所, 1990.
- [2] 刘建远, 黄瑛彩. 高压辊磨机在矿物加工领域的应用[J]. 金属矿山, 2010(6): 1-8.
- [3] 罗主平, 刘建华, 李生奇. 高压辊磨作业对矿石后续碎磨性影响研究[J]. 现代矿业, 2010(4): 56-59, 64.

Optimization of Mineral Processing Technology Design for Chongqing Taihe Iron Ore

CHEN You-lei¹, HU Wei-ming²

(1. Zhongye Changtian International Engineering Co., Ltd., Changsha, Hunan, China;

2. Chongqing Iron and Steel Xichang Mining Co., Ltd., Xichang, Sichuan, China)

Abstract: Through the analysis of ore properties of Chonggang Taihe vanadium titanium magnetite and the result of mineral processing, the reasonable mineral processing flowsheet was determined for 6,300,000T/a. Meanwhile, the flowsheet structure and the technological design characteristics were discussed in this paper.

Key words: Vanadic titanomagnetite; Mineral processing technology; Design optimization