

## 【加工技术及设备】

## 阜新硅石精细提纯工艺研究初探

刘国库, 张文军, 王恩雷

(辽宁工程技术大学资环学院, 辽宁 阜新 123000)

**摘要:** 阜新硅石大部分为脉石英状, 通过XRD分析, 属于低温稳定态的 $\alpha$ -石英, 晶格里杂质元素很微少, 是代替天然水晶的优质原料。经过磨矿和酸浸试验初探, 根据产品和工艺要求确定了磨矿条件, 由于石英是耐磨性矿物, 因此, 原矿的二次污染严重, 但经过冷酸浸处理,  $\text{SiO}_2$  纯度达到99.9%以上, 根据酸浸结果, 再联合擦洗—磁选—浮选工艺, 是完全可以加工成高纯或超高纯石英粉。

**关键词:** 脉石英; 酸浸; 浮选

**中图分类号:** TD973.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-9386(2007)增刊-0066-02

阜新硅石的储量非常丰富, 大部分为脉石英状, 产于花岗岩或花岗岩片麻石中或与钾长石间断共生, 矿石呈白色、灰白色、乳白色, 致密、坚硬、性脆、块状结构, 油脂或玻璃光泽, 透明、半透明或不透明, 硬度7, 真密度 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$ 。其化学成份(%):  $\text{SiO}_2$ 98.1~99.76,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 0.03,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 0.03~0.32,  $\text{CaO}$ 0.24,  $\text{MgO}$ 0.008,  $\text{K}_2\text{O}$ 0.011,  $\text{NaO}$ 0.044, 具有储量大, 纯度高的优点。因此, 只要能对阜新的硅石的少量的杂质元素除去, 就会得到高纯或超高纯硅微粉。

### 1 阜新硅石杂质元素赋存状态

阜新硅石除了主要矿物石英外, 通常伴有长石和铁质等杂质矿物。制备的高纯和超高纯石英原料, 其中主要的有害杂质是含铁和含铝杂质。

铁在其中以以下几种形式存在<sup>[1]</sup>: 以微细粒状态赋存在伴生的长石中; 以氧化铁薄膜形式附着在石英颗粒的表面; 在石英颗粒内部呈浸染或透镜状态或以固溶态存在于石英晶体内部。此外, 加工过程中也会混入一定量的机械铁。

含铝杂质主要存在于伴生的长石矿物中, 还有 $\text{Al}^{3+}$ 替代 $\text{Si}^{4+}$ 存在于石英晶格中。这种异价类质同象的替换, 常造成碱金属阳离子进入结构空隙, 以保持电子的平衡, 形成结构杂质。从硅石(-100目)的XRD图(图1)可以看出, 为低温稳定态的 $\alpha$ -石英, 可以进行热力破碎, 不但可以降低能耗, 还有利于流体包裹体的破裂和排除; 特征峰很窄, 晶格参数没有变化, 说明类质同象替换很少, 即结构杂质很少。

### 2 磨矿试验

磨矿采用颚式破碎机和XMQ  $\phi 240 \times 90$  锥形球磨机, 加料量800g, 最大入料粒度3mm, 磨矿浓度67%, 最佳磨矿时间由后续工艺和产品粒度要求

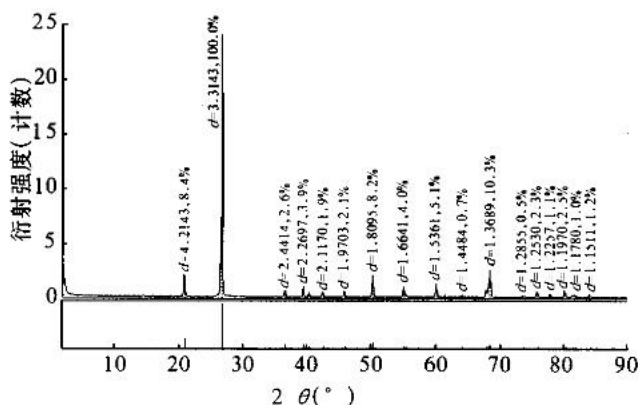


图1 阜新硅石粉X-射线衍射曲线

所决定。

酸浸工艺的人料粒度一般要求小于 $0.25 \sim 0.074\text{mm}$ (200目)<sup>[1]</sup>, 入料粒度过大, 则杂质还未裸露或解离出来, 影响浸出效果; 粒度过小, 生产成本和产品粒度要求不允许。磨矿10min时, 酸浸的目标粒级含量为68%(图2), 磨料粒度要求的含量最高(图3), 是酸浸的最佳磨矿时间。

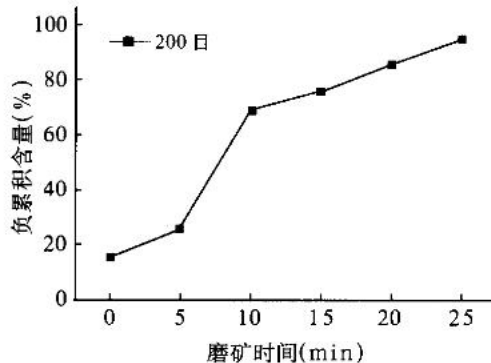


图2 磨矿粒度与时间曲线

酸浸粒度上限和磨矿时间成正比关系(图2), 理论上是在一定时间范围内, 时间越长目标粒级含量越高, 矿物解离越彻底, 越有利于酸浸出, 但做石

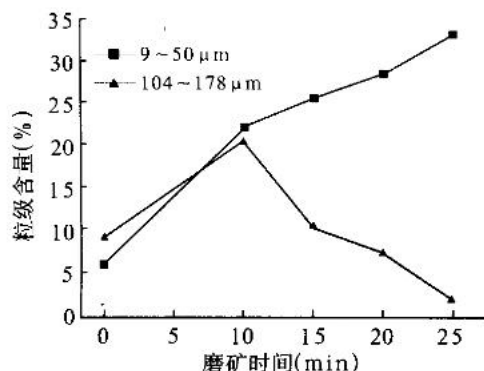


图3 目标粒级含量与磨矿时间曲线

英玻璃等熔料时,一般熔料的最佳粒度为104~178 μm(约80~146目)<sup>[2]</sup>,小于10 μm的石英粉是不可以接受的,应尽量减少其含量。

随着磨矿时间的延长,最佳熔料粒级含量迅速增加,10min处达到最大,随后逐渐减少(图3),说明磨矿的效率随粒度的减小而降低。10min之前是+140 μm的破碎速度远大于-178 μm的破碎速度,因此,该粒级含量迅速增加;反之,随着+140 μm的物料量逐渐减少,+140 μm的破碎速度逐渐小于-178 μm的破碎速度,因此,10min之后的该粒级含量逐渐减少;因此,10min是熔料产品粒度要求的最佳磨矿时间。

浮选是除去长石的主要工艺,还必须考虑到矿物浮选粒度的上、下限和最佳的浮选粒级。

Schulze<sup>[3]</sup>得出浮选的粒度上限在静态条件下的公式:

$$D_{\max} = \left[ -\frac{3 \gamma_{LG} \cdot \sin \omega \cdot (\omega + \theta)}{2 \Delta \sigma \cdot g} \right]^{1/2}$$

式中:  $\gamma_{LG}$ ——液/气界面张力(N·m<sup>-1</sup>);

$\theta$ ——接触角(deg);

$\Delta \sigma$ ——矿粒与液体间密度差(kg·m<sup>-3</sup>);

$g$ ——重力常数(9.81m·s<sup>-2</sup>);

$\omega = 180^\circ - (1/2)\theta$

求得:  $D_{\text{长石Max}} = 1.515\text{mm}$ ;  $D_{\text{石英Max}} = 1.413\text{mm}$ 。

静态条件下浮选粒度下限公式:

$$D_{\min} = 2 \left[ \frac{3 \sigma^2}{V_{br}^2 \Delta \gamma_{LG} (1 - \cos \theta)} \right]^{1/3}$$

式中:  $V_{br}$ ——气泡上升速度(m·s<sup>-1</sup>);

$\sigma$ ——线性张力(N)。

求得:  $D_{\text{长石Min}} = 1.49 \mu\text{m}$ ;  $D_{\text{石英Min}} = 1.46 \mu\text{m}$ 。

长石和石英由于结构和组分的相近,其浮选的粒度也相近,但实际浮选过程的矿浆是在紊流状态下进行的,上限粒度的脱附率比静态条件下大大提高,因此,可以浮选的粒度上限降低;下限粒度的

碰撞率比静态条件下大大提高,因此其可以浮选的粒度下限也降低。一般亲水性矿物的最佳浮选粒度为10~80 μm,如石英和长石的最佳浮选粒度9~50 μm。因此,浮选的人料粒度设为-1mm。磨矿条件是几乎100%全部通过1mm的标准筛,最大限度的控制长石的粒度在9~50 μm粒级间(如图3),此外,尽量减少-1 μm的物料量。

### 3 酸浸试验

酸处理是利用石英耐酸(HF例外)的特点,而其他杂质矿物则被酸溶成可溶性化合物,从石英颗粒上脱落于液体中,经过固液分离和净水洗涤,予以清除。试验发现<sup>[4]</sup>,各种稀酸对降低Fe、Al元素含量,效果较明显;HF酸能溶解SiO<sub>2</sub>,对脱除石英表面Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和显露包裹体效果好。由于有害成分是以矿物集合体的形态存在的,故采用混酸酸浸能产生协同效应,溶解杂质的作用更强,如下表。

酸浸对比表

试样	SiO <sub>2</sub> 含量(%)
球磨10min原样	96.460
盐酸	98.965
硫酸+盐酸	99.925

从表中可以看出采用球磨机的二次铁污染很严重,机械铁屑量远超过原矿含铁量。由于铁的活性好,易溶于酸,因此酸浸很容易除去。数据表明单一的一次冷酸酸浸SiO<sub>2</sub>纯度就可以达到99.9%以上。

若优化混酸酸浸条件,再联合擦洗、磁选和浮选工艺,精矿质量可以达到纯度为99.95%以上的高纯或99.99%以上的超高纯石英粉。

### 4 结论

(1) 阜新硅石属于脉石英类,为低温稳定态的 $\alpha$ -石英,在900℃条件下, $\alpha$ -石英转变为磷石英,体积增大16%,然后冷水中骤冷,使矿石结构遭到破坏,强度降低,更易于磨矿;同时使裂隙和爆裂的流体包裹体里的杂质裸露出来,易于酸的浸出。

(2) 石英是耐磨矿物,磨矿过程原矿二次污染很严重,采用钢球铁污染很严重,但由于铁的活性比铝要好,更易于除去,工业上生产可以加衬板来避免原矿二次污染。磨矿时间由产品粒度要求和后续工艺所决定,由图3可知,磨矿10min是熔料最佳磨矿时间。酸浸的粒度和浮选粒度上下限、最佳浮选粒度都是磨矿的参考条件。

(3) 冷酸酸浸24h, SiO<sub>2</sub>纯度达到99.9%以上,且混酸的酸浸效果比单一盐酸的效果好,若再优化酸浸的各条件,产品纯度可以达到高(下转第73页)

装一台节能环保高场强筒辊式永磁磁选机(型号: CTG-12-II),使用过程中达到产品的要求,分选效果良好。生产指标如表4。

表4 烟台钠长石生产线除铁结果

矿样	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含量(%)			精矿(%)		尾矿(%)		处理量(t/h)	粒度(mm)
	原矿	精矿	尾矿	产率	分布率	产率	分布率		
优质	0.125	0.077	0.95	94.45	58.02	5.55	41.98	3~3.5	0.05~2
劣质	0.454	0.115	1.56	76.47	19.37	23.5	80.63	2~2.5	0.02~2

针对不同含铁量的钠长石矿,优质矿经分选后精矿含铁0.077%,低于0.08%,满足工业生产要求,并且产率很高,达94.45%;劣质矿经分选后精矿含铁0.115%,低于优质原矿含铁量,产率76.47%。节能环保高场强筒辊式永磁磁选机不仅能处理优质矿,也能很好地处理劣质矿。

CTG系列节能环保高场强筒辊式永磁磁选机通过对钾长石、石英砂、钠长石三个厂家矿除铁的工业应用,除铁后铁含量达到生产要求,得到用户好评。此磁选机尚有自身不足之处,有待改进,将作为华特龙头产品在全国非金属行业大力推广。

5 结语

(1) CTG系列节能环保高场强筒辊式永磁磁选机,将永磁滚筒、高场强永磁辊有机结合,采用独特的磁路计算机模拟设计,由高剩磁高矫顽力的钕

(上接第65页)可以进行多元复合,意义重大。这种机械不仅可以运用在无机粉体改性上,还可以使用在生产阻燃塑料上,不管是粉体还是可熔化固体和液体的改性或添加阻燃剂都可以在改性机上实现。此外运用到PVC制品的拌料上,具有更加方便、更加有效的作用。

(2) 多元复合共混改性理论是先进的理论,在带二个雾化室的国产改性机上实现对无机粉体的多元复合改性是塑料改性的重大进步,好的理论只有在好的设备上才能做出好的产品。

(3) 丙烯腈接枝改性无机粉体,适合于PVC、

(上接第67页)

纯和超高纯石英粉标准。

(4) 由于酸浸成本和环境污染严重,因此,酸浸要联合擦洗—磁选—浮选工艺,在酸浸工艺前除去大量的杂质,特别是长石、云母等耐酸碱矿物,主要靠浮选工艺才能除去,同时也减少酸和洗水的用量。

铁硼组成特种磁系,滚筒内磁系装有摆动装置,加大磁性矿物在滚筒表面的翻滚次数,两磁辊间的位错恰好为磁辊磁场波长的一半,使除净率大大提高。

(2) 2007年8月25日,CTG系列节能环保高场强筒辊式永磁磁选机在安徽凤阳通过省级鉴定会,专家一致认为:该磁选机技术先进、结构合理,在非金属矿除铁领域达到国际先进水平,同意通过鉴定,可批量生产。

(3) 通过在长石和石英砂生产线的应用,CTG系列节能环保高场强筒辊式永磁磁选机可以生产出钾、钠长石和石英砂业非金属矿优质高品质产品,指标见表2~4,在非金属行业推广该磁选机意义重大。

(4) 滚筒和磁辊采用高性能稀土钕铁硼作磁系,磁选机上留有收尘口,不仅节能而且环保。

(5) 目前国内外市场需求量大,国内预计在1000台以上,以每台20万元计,我公司年产可达200台,经济效益和社会效益很可观,并且该磁选机工作平稳、安全可靠、维修费用低。

【参考文献】

[1] 赵锦朴. 干法强磁除铁技术在多种非金属矿提纯中的应用[J]. 非金属矿, 2003(7).

[2] 王常任. 磁电选矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1986: 6-9.

【收稿日期】2007-09-07

CPVC、PS和ABS树脂,针对化学建材,为了改善PVC门窗型材和管材的填料性能,给出了一条科学使用填料、在保证质量的前提下如何降低成本的方法,对于企业意义重大。

【参考文献】

[1] 刘伯元, 刘英俊. 塑料的填充改性[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.

[2] 刘伯元. 中国非金属矿开发与应用[M]. 北京: 中国冶金出版社, 2003.

[3] 刘伯元. 粉体表面改性的最新发展[J]. 塑料技术, 2003, (6).

[4] 刘伯元. 第四代HDPE大口径双壁波纹管增刚、增强、增韧母料的开发与研究[J]. 塑料技术, 2004, (1).

【收稿日期】2007-08-25

【参考文献】

[1] 许时. 矿石可选性研究[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006: 176-179.

[2] 王泽杭. 用硅石生产高纯石英粉新技术[J]. 中国建材, 2001, (11): 75-79

[3] 邱冠周, 胡月华, 王淀佐. 颗粒间相互作用与细粒浮选[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1993: 1-5.

[4] 刘理根, 高惠民, 张凌燕. 高纯石英砂选矿工艺研究[J]. 非金属矿, 1996, (4): 39-41.

【收稿日期】2007-08-25