

热处理菱镁矿制备氧化镁的国内研究进展

王倩倩, 陈中航, 李晓安, 代淑娟

(辽宁科技大学矿业工程学院, 辽宁 鞍山 114051)

摘要: 氧化镁是一种重要的化工原料, 而菱镁矿是制备氧化镁的一个重要来源。利用菱镁矿制备氧化镁的热处理方法包括轻烧, 重烧和熔融。近年来, 国内学者对这些方法的控制参数、产品性能、工艺流程、过程机理等方面进行了相关研究。

关键词: 氧化镁; 菱镁矿; 煅烧; 轻烧; 重烧

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2019.02.002

中图分类号: TD989 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2019) 02-0009-07

氧化镁作为一种重要的无机化工产品, 用途广泛^[1]。其主要的生产来源之一就是菱镁矿。中国的菱镁矿储量丰富, 中国储量50亿t, 占比达20.83%, 位居世界第二位^[2]。选择菱镁矿作为生产制备氧化镁的原料具有资源优势, 同时也有可观的经济前景。

利用菱镁矿制备氧化镁的方法主要有两种, 热处理和化学反应。热处理包括轻烧, 重烧和熔融; 化学反应包括酸浸、铵浸和碳化。热处理是国内最普遍使用的加工方法。

1 煅烧

菱镁矿深加工的必需步骤是煅烧, 它直接影响深加工产品的质量^[3]。当加热至640℃以上时, 菱镁矿开始分解成氧化镁和二氧化碳。在700~1000℃煅烧时, 二氧化碳没有完全逸出, 成为一种粉末状物质, 称为轻烧镁(也称苛性镁、煅烧镁、 α -镁、菱苦土)。其化学活性很强, 具有高度的胶粘性, 易与水作用生成氢氧化镁。

在1400~1800℃煅烧时, 菱镁矿中的二氧化碳完全逸出, 形成与方镁石结构类似的氧化镁致密块体, 称为重烧镁(又称硬烧镁、死烧镁、 β -镁、僵烧镁等), 这种重烧镁具有很高的耐火度, 广泛用于冶金工业中作砌筑炉窑的耐火材料。高

温煅烧的氧化镁不易与水和碳酸结合, 具有硬度大, 抗化学腐蚀性强, 电阻率高等特性。而先对低品位的块状菱镁矿进行煅烧, 之后再行破碎、筛分处理还是一种有效的菱镁矿的提纯工艺^[4]。

1.1 轻烧

1.1.1 工艺条件和性能

影响菱镁矿热分解的轻烧工艺条件包括煅烧温度、保温时间、矿石粒度和添加剂情况。一般规律是在同一温度下煅烧时, 矿石的粒度越大, 分解时间越长; 同一粒度的矿石在不同温度下煅烧时, 温度越高, 分解时间越短^[5]。添加剂的使用也会影响菱镁矿的热分解情况。在低品位菱镁矿中加入质量分数为1%的 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 轻烧(650℃下煅烧2h), 可以使轻烧镁中 $MgCO_3$ 尽量多的分解(98.6%), 杂质 $CaCO_3$ 尽量少的分解(4.03%), 最终得到 MgO 和 $CaCO_3$ 的煅烧产物。这样有利于后续使用铵浸法更有效的分离Ca和Mg^[6]。另外, 也可以通过菱镁矿添加 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 或无水 $MgCl_2$ 混合焙烧的方式实现钙镁分离, 以制备高纯氧化镁^[7]。菱镁矿的分解还与其内部杂质有关, 杂质越多, 菱镁矿晶体的发育程度越差, 分解温度和强度越低^[8]。

1.1.1.1 活性

轻烧镁的活性是一项重要的性能指标, 与后

收稿日期: 2017-10-22

作者简介: 王倩倩(1984-), 女, 讲师, 博士, 主要从事微生物技术与菱镁矿选矿技术研究。

续处理息息相关。同条件下制得的样品,比表面积越大说明颗粒越小,与水接触面积越大,越易水化,活性越高^[9]。轻烧的工艺条件不仅会影响菱镁矿的热分解情况,还会直接影响轻烧镁的活性。

钱海燕等人研究了煅烧温度和时间对菱镁矿的煅烧产物和活性的影响。结果表明菱镁矿分解温度为625℃,在700℃煅烧2h时,已分解完全;750℃煅烧1.5h以后,分解完全;800℃煅烧1h以后,分解完全;850℃煅烧0.5h,已无菱镁矿存在。在保证菱镁矿基本分解的前提下,随煅烧温度的升高和煅烧时间的延长,轻烧氧化镁的活性降低;750℃下煅烧1.5h,所得轻烧氧化镁活性最高^[10]。在菱镁矿分解完全的情况下,时间以短为宜^[11]。

通过研究菱镁矿的热分解过程发现,轻烧镁的活性不仅和煅烧温度和时间有关,还和菱镁矿杂质含量有关系。若煅烧温度过高,煅烧得到的氧化镁结晶性能虽好,但活性低,不利于进一步的加工,而且已形成的氧化镁与Fe₂O₃及SiO₂等杂质反应造成镁的提取率降低^[12]。所以不同产地的菱镁矿,其煅烧特性也不同。辽宁海城矿800~1000℃下分解出的氧化镁粉的活性最高。在高于1200℃的温度下处于死烧状态。山东掖县矿在600℃时分解出的氧化镁粉活性最高,在1000℃左右处于死烧状态^[13]。而肃北菱镁矿在650~700℃范围内煅烧,其产物中MgO活性最高^[14]。

在对低品位菱镁矿煅烧后的氧化镁活性研究中发现,同是30~50mm的粒度,四级菱镁矿在850℃煅烧、保温2h后所得氧化镁的活性最高;而尾矿在750℃煅烧、保温1.5h后所得氧化镁的活性最高^[15]。

除此以外,轻烧镁的活性还和升温速率有关。当煅烧温度和保温时间一定时,轻烧氧化镁的烧失量随升温速率的增大而增大,水化活性随升温速率的增大呈现出先增大后减小的趋势^[16]。

张强等^[17]利用田口试验方法对菱镁矿煅烧参数进行优化,获得了与实际水化率较接近的预测值,并利用方差分析,确定了各因子对产物水化活性影响由大到小的顺序:煅烧温度、粒度大小、保温时间、升温速率。其中煅烧温度的影响最为显著,其贡献率为98.14%,最小的为升温速率,其贡献率仅为0.07%。

任伟康等^[18]采用正交试验法研究了新疆和静菱镁矿的轻烧特性,所得结果亦如此,煅烧温度、原料粒度、保温时间依次为对轻烧氧化镁活性影响由大到小的三个因素,即便他们是用柠檬酸活性法来表征活性的。

由于活性和比表面积有关,通过轻烧镁的比表面积研究,也可以看到类似的规律。菱镁矿煅烧后的比表面积随煅烧温度升高,煅烧升温速度的加快,被煅烧的菱镁矿粒度的增大而减小。煅烧气氛对菱镁矿煅烧后得到的MgO比表面积有影响,CO₂气氛中煅烧菱镁矿得到的MgO比在N₂中得到的MgO比表面积要小^[19]。

王小娟等^[20]则以非晶质菱镁矿为原料,研究了煅烧的温度、保温时间、升温速率对氧化镁活性的影响。结果表明,以10℃/min的升温速率,在700℃下保温1.5h所得氧化镁粉体活性高、比表面积大,矿样的分解率大。

1.1.1.2 其他性能

轻烧氧化镁可作为MgO膨化剂用于混凝土中,有补偿其降温收缩的作用。李兆恒^[21-22]等研究了MgO的膨胀性能与煅烧制度之间的关系。MgO膨化剂的膨胀特性主要与其反应活性相关,而氧化镁的反应活性取决于其微观结构,微观结构的形成与煅烧制度直接相关。煅烧温度升高,MgO微晶聚集而成的MgO颗粒表面逐渐密实,团聚体中MgO晶体自由烧结程度提高、晶粒尺寸增大,水化活性值增大;相同粒度分布的菱镁矿粉体,煅烧温度对MgO膨化剂粒度分布的影响基本一致。矿物组分、粒度分布基本一致条件下,水化活性值、晶粒尺寸与煅烧温度存在指数关系;水化活性值与晶粒尺寸存在线性关系,反应活性与晶格畸变存在双曲线的关系。水化活性值可调控MgO膨化剂的膨胀历程;不同煅烧制度制备的MgO膨化剂的早期膨胀性能(水养20℃)随着活性值增大呈指数性减小。

通过立窑和旋转窑的轻烧对比发现,旋转窑能够使物料的受热更均匀,煅烧更充分,烧制的轻烧MgO膨化剂MgO含量更高,活性更稳定,对水泥胶砂力学性能与限制膨胀率而言,旋窑的综合效果更好^[23]。

轻烧氧化镁可作为镁质胶凝材料应用于粉煤成型领域。黄光许等^[24]研究了菱镁矿制备轻烧氧

化镁的工艺条件与对粉煤黏结性能之间的关系。结果表明：随着煅烧温度的升高(500~900℃)、煅烧时间的延长(0.5~2.5 h)，所制氧化镁的活性均呈现出先升高后降低的趋势。菱镁矿在700℃下煅烧1.5 h后，氧化镁大量生成且结晶度不高，比表面积最大，活性最高。氧化镁的活性决定其对煤粒的黏结效果，活性越高，形成的稳定水化物越多，对煤粒的黏结作用越强，相应型块的机械强度越高。

田露等^[25]用菱镁矿煅烧制备的氧化镁进行湿法烟气脱硫试验，结果表明，当煅烧温度为650℃煅烧45 min时，氧化镁活性最好，在650℃煅烧45 min和700℃下煅烧30 min时的氧化镁的脱硫活性相当。

1.1.2 新工艺

为获得高活性的氧化镁，除了对煅烧条件的控制，李环等^[26]还开发了一种新方法。他们以菱镁矿为原料，先在850℃下煅烧2 h获得轻烧氧化镁，然后水化成氢氧化镁，再在加热温度为500℃，保温时间为1 h的条件下轻烧分解氢氧化镁，能得到吸碘值达191.42 mg/g的活性氧化镁。结果表明在轻烧氢氧化镁时，随着温度的升高，氧化镁活性逐渐降低，而在相同温度下，随着保温时间的延长，氧化镁的活性降低。

邓玉芬等^[27]则通过阶梯化升温保温的煅烧方式制备活性氧化镁，最后综合考虑菱镁矿分解率和氧化镁活性两方面因素，得出较佳煅烧条件为：550℃保温7 h，升到650℃后保温2 h。

王政等^[28]针对菱镁矿粉状尾矿，采用菱镁矿精制(添加球团添加剂BGMGT4)-压球-轻烧工艺，可直接得到合格的镁砂产品。

彭强等^[29]采用实验室自行研制的小型模拟悬浮态煅烧装置悬浮煅烧菱镁矿，可在短时间内获得晶粒尺寸小，结晶度低，比表面积大、活性高的轻烧氧化镁。

周宝余等^[30]将废弃菱镁矿碎矿破碎成≤0.088 mm的细粉，与轻烧镁粉按95:5的质量比配料，采用MgCl₂溶液与纸浆废液按3:1质量比混合的复合结合剂，按250 MPa成型压力压球后，在1800℃保温5 h煅烧制备的烧结镁砂，理化指标达到了国标中MS96牌号烧结镁砂的要求。

1.1.3 轻烧机理

为进一步了解菱镁矿的热分解机理，和各种因素对煅烧过程的影响。人们对菱镁矿的轻烧动力学进行了研究。

根据研究结果，菱镁矿煅烧过程中的物理化学变化可作如下描述：菱镁矿在很短时内迅速分解所得到的氧化镁微晶构成一个保持原菱镁矿颗粒外形的硬团聚体，即所谓“假象”。进一步煅烧则主要进行团聚体内微晶氧化镁的烧结。首先可能是氧化镁微晶的晶体完整过程和迅速长大。此时比表面积急剧下降，团聚体发生一定程度的收缩。接着发生由表面扩散或(和)蒸发-凝聚所控制的烧结过程，这时比表面积仍下降很快，晶粒也迅速长大。但速度都逐渐减慢，晶粒长大呈现两个速度不同的阶段，而团聚体不发生显著收缩，团聚体内孔容也基本保持不变，气孔分布向大孔方向移动，中孔直径增大。最后，体积或晶界扩散开始起作用，团聚体再次出现收缩，晶粒长大及表面积减少速度也大大降低^[31]。

按照菱镁矿粒度的不同，研究者提出了不同的煅烧动力学模型^[32-33]。

(1) 传热控制的动力学模型：与分解速度相比，热量会迅速地传递到整个颗粒并达到分解温度，分解反应基本是在整个颗粒内同时进行。此时转化率与时间的关系见式(1)，适用范围：菱镁矿颗粒较大(平均粒径≥30 mm)并且温度较高(≥800℃)。

$$f(x) = 1 - 3(1-x)^{2/3} + 2(1-x) = \frac{k_1(T_b - T_d)}{r_p^2} \cdot t \quad (1)$$

T_d 为菱镁矿的离解温度(℃)

T_b 为按体积计算的矿样平均温度(℃)

r_p 颗粒半径(cm)

X- 已分解的CO₂(%)

t- 分解时间(秒)

k₁- 反应速率常数。

(2) 分解反应控制的动力学模型：热量的传递只能使颗粒的一个薄层达到分解温度，这个薄层随分解反应的进行由外及里逐步推移，直至整个反应结束为止。

适用范围：菱镁矿颗粒较小(平均粒径<20mm)或者温度较低(≤700℃)

$$f(x) = 1 - (1-x)^{1/3} = k_2 t$$

X- 已分解的CO₂(%)

t- 分解时间 (s)

k₂- 反应速率常数。

煅烧温度在 750℃ 左右时, 煅烧表现为传热和分解反应混合控制。当温度一定时, 随着粒径的减小, 煅烧过程由传热控制向分解反应控制过渡。

另外, 徐道诚^[34] 根据试验数据发现埃罗费夫 (Erofeev) 动力学方程能够很好的描述菱镁矿在 600-1000℃ 煅烧温度时菱镁矿的失重率和煅烧时间的关系, 见表 1。

表 1 失重率与时间的函数关系式

Table 1 The functional relation between weight loss rate and time.

$a = 1 - e^{-kt^n}$, a-失重率, t-时间		
温度 /℃	k	n
600	0.027	0.8893
700	0.047	1.1891
800	0.0919	1.284
900	0.12	1.4
1000	0.1737	1.601

彭强等^[35] 利用热重 (TG) 分析法, 对不同粒度菱镁矿的热分解过程进行研究, 发现菱镁矿热分解的活化能随菱镁矿粒度的增大而减小, 当菱镁矿的粒度由小增大时, 控制其热分解过程的机理由化学反应逐渐向颗粒内部的传热和 CO₂ 的扩散传质转变。利用 Thermo-kinetics 软件, 采用多元非线性拟合法, 得出其热分解过程的较佳机理函数三级相边界扩散反应模型 (R3), 函数方程为 $G(\alpha) = 1 - (1 - \alpha)^{1/3}$, α 为 MgCO₃ 转化为 MgO 的转化率。这与白丽梅等^[36] 的对细粒级菱镁矿的热分解动力学研究结论一致。

1.2 重烧

1.2.1 重烧工艺

生产重烧镁可以有两种方法: 直接重烧法和两步煅烧法。

直接重烧法, 即将矿石破碎至粒度为 40~80 mm, 直接装入竖窑进行重烧。在采矿和矿石破碎过程中, 产生大量的粒度为 0~30 mm 的碎矿, 这部分矿石由于粒度太小不能进入竖窑进行重烧。韦仕禄等^[37] 设计了一种双进双出形式的小型隧道窑来解决这个问题。

两步煅烧法, 首先轻烧, 然后压球, 最后进入竖窑进行重烧。

菱镁矿轻烧后矿粉中仍残留有相当的母盐假

象, 烧结时假象内部急剧收缩, 假象颗粒间产生较大空隙, 很难烧结, 饶东生等^[38] 采用轻烧镁与少量活性碳共同细磨的工艺, 有效促进烧结, 不但对制品的矿相无影响, 还可达到改善显微结构之目的。当活性碳加入量在 0.05%~0.10wt% 时, 试样的体积密度、平均晶粒尺寸均较不加者为大。随活性碳加入量继续增加, 体积密度与晶粒尺寸明显减小^[39]。

此外, 为了解决烧结难题, 徐兴无^[40] 等人在轻烧工艺上做了改进。在浮选菱镁矿精矿粉中加入一定量的氯化镁轻烧, 可改善轻烧镁粉的性质, 促进 MgO 烧结。主要是氯化镁的加入在菱镁矿分解时促进了 MgO 晶粒长大, 降低了 MgO 微晶间的结合力, 使菱镁矿母盐假象这种强微晶聚集体转变为弱晶粒团聚体, 后者较容易被一般的成型压力所破坏。破坏菱镁矿母盐聚晶假象, 改善粉末的成型和烧结性能是氯化镁添加剂促进菱镁矿烧结的主要原因。

除了添加剂能改善烧结性能外, 采用合适的轻烧温度、升温速度及时间以提高轻烧镁活性也能消除假象, 利于烧结。另外, 对轻烧 MgO 粉进行粉碎细磨, 也能改善其压缩性, 利于烧结, 且能降低烧结温度^[38,41]。

为制得高密度的重烧镁, 李环等^[42] 研制了一种新工艺。首先将菱镁矿在 850℃ 下煅烧 2 h 获得轻烧氧化镁, 并将其水化成氢氧化镁; 然后将氢氧化镁按细磨-轻烧-细磨-成型-烧结, 此工艺可制得体积密度高达 3.46 g/cm³ 的烧结镁砂。

中冶焦耐工程技术有限公司^[43] 通过自主研发、国外引进等方式将两步煅烧工艺、超细粉制备工艺、二次压球等工艺技术应用在制备高纯镁砂生产工艺中。采用多层炉轻烧和 2000℃ 高温竖窑重烧, 将氧化镁粒径磨细至 12 μm ≥ 90%, 5 μm ≥ 50%, 破坏轻烧氧化镁假象晶格, 采用二次压球工艺, 使氧化镁成球后体积密度达到 2g/cm³ 以上, 通过添加微量添加物促进煅烧产物致密化、稳定化, 实现充分烧结状态, 制备出了氧化镁含量 ≥ 98%, 体积密度 ≥ 3.4 g/cm³ 的高纯镁砂。

张丹丹^[44] 等人为解决竖窑煅烧重烧镁砂过程中易出现的“粘窑”事故, 研究发现采用电熔再结合镁铬砖可避免在重烧菱镁矿过程中发生粘结, 是竖窑烧成带所用耐火材料的理想选择。

1.2.2 重烧机理

目前制备重烧镁砂普遍采用竖窑，煅烧时窑内料柱高度达到20~50 m，由于物料的重力作用，上部物料对下部物料产生一定压力，因此菱镁矿在竖窑中的煅烧是一种特殊的在自重作用下的热压烧结过程。经过估算，在竖窑烧成带以上料柱高度每增加1 m，烧成带单块菱镁矿受到的压力增加0.5 MPa。

薛亮等^[45]以热压烧结理论和研究方法讨论了在不同温度下载荷对菱镁矿石分解和烧结的影响。试验结果表明：载荷的存在降低了菱镁矿石分解速率，完全分解温度随着载荷的增大而增高；载荷增加了菱镁矿石的烧结速率，并且载荷越大对烧结速率的影响越明显；大型化竖窑具有很好的节能效果。

吴锋等^[46]采用热压烧结法，模拟块状菱镁矿在自重压力作用下的烧结过程，研究了热压条件下块状菱镁矿的致密化规律。结果表明：在匀速升温阶段，颗粒迅速致密化，自重压力增加，加快了方镁石颗粒重排速率，缩短了致密化时间，降低了试样致密化温度；在保温阶段，试样以塑性流动和扩散方式致密化；在塑性流动阶段，随着压力/液相黏度的增大，致密化速率提高，塑性流动过程缩短；扩散阶段，随着保温时间的延长，试样的孔隙度逐渐减小，晶粒逐渐长大；在匀速降温阶段，自重压力越大，试样弹性模量越高，应力释放产生的弹性形变越大，相对密度降低速率越快，自重压力为5 MPa时试样的密化程度和方镁石结晶度最高。

采用高温电炉进行煅烧，周宝余等^[47-48]分别研究了块状菱镁矿煅烧中期和末期的烧结机理。

在煅烧中期(1400~1600℃)，液相在晶体周围分布越均匀，润湿晶粒的表面积越广泛，晶粒的发育程度越好，方镁石结晶度越大；1400~1600℃致密化系数由23.51%增加到71.24%，在液相的作用下块状菱镁矿烧结中期可分为两个阶段进行：阶段1-烧结传质方式为流动传质，烧结激活能随温度升高而减小，致密化速率快速增加；阶段2-随着温度的升高，烧结传质方式为“溶解-沉淀”，颗粒对应面产生化学位梯度增加，液相传质速率增加，烧结激活能降低，颗粒迅速致密化。

在烧结末期(1600~1800℃)，随着温度升高，

晶界快速移动，气孔“汇聚-排除”的速率和晶界向曲率中心的移动的速率增加，致使颗粒致密化迅速，方镁石晶粒长大明显。温度在1600-1700℃期间，晶界扩散是控制烧结致密化的主导机制，晶粒生长活化能为 1.382×10^3 kJ/mol，晶粒以结晶长大方式为主；温度在1700~1800℃期间，体积扩散是控制烧结致密化的主导机制，晶粒生长活化能为 1.164×10^3 kJ/mol，晶粒以聚晶长大方式为主。随温度的升高，晶粒长大活化能逐渐减小，晶粒长大速率增加。

2 熔 融

在2800℃以上的熔融炉中将菱镁矿进行熔炼，使原料熔融，经冷却凝固发育成完好的方镁石晶体，称为电熔氧化镁。按所得产品的纯度、晶体形态及用途大致可分为以下几种产品类型：氧化镁单晶体、氧化镁多晶体、高纯电熔氧化镁、电热器用电熔氧化镁和耐火材料工业用电熔氧化镁、陶瓷材料工业用电熔氧化镁等。

目前，我国电熔镁产业仍在沿用国际四五十年代的原始电弧炉生产方式，功率低，容量小，效率低。多数电熔镁企业生产设备简陋，生产工艺落后，生产过程缺乏现代控制手段，热工制度和操作规程主要凭经验确定，生产过程主要靠人工手动控制。现有电熔镁炉平均单耗约2900 kWh，比国际先进水平高20%以上，能源浪费十分严重^[49-50]。

国内对电熔法生产镁砂的研究主要集中在通过智能化控制电弧炉来减少能耗方面上，以及选择适宜的化学添加剂以改善镁砂的性能^[51-54]。在开发新的熔融炉设备方面还没有明显成果，仅在原电弧炉炉体上稍作改进^[55-56]。

3 结 语

国内对热处理制备氧化镁的研究主要集中在煅烧，尤其是轻烧上，通过改善工艺条件和流程以产出活性高、易烧结、易后续处理的轻烧镁。这不仅是现在，也会是将来研究的重点内容。目前国内对熔融法制备氧化镁的研究不多，今后可以针对熔融法多开展相关研究，改进生产工艺，优先发展优质高效镁质制品。另外，针对各种热处理法开发新设备，也是一条降低能耗、提高产品质量的好路径。

参考文献:

- [1] 胡庆福. 镁化合物生产与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004. 33-150.
- [2] 赵琪, 黄翀, 李颖, 等. 中国菱镁矿需求趋势分析 [J]. 中国矿业, 2016, 25(12): 38-47.
- [3] 于滢, 于宏杰. 菱镁矿轻烧的试验研究 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 1993(3): 151-153.
- [4] 谢鹏永, 罗旭东, 郝长安. 低品位菱镁矿的热选提纯工艺研究 [J]. 耐火材料, 2017, 51(1): 53-56.
- [5] 娄仙果, 孙友助, 胡庆福. 菱镁矿煅烧工艺条件初探 [J]. 河北科技大学学报, 1988(1): 17-25.
- [6] 单琪堰, 张悦, 杨合, 等. 低品位菱铁矿煅烧的新工艺 [J]. 非金属矿, 2011, 34(3): 15-18.
- [7] 张晨洋. 菱镁矿氯化焙烧制备高纯氧化镁研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2016.
- [8] 于艳敏. 节能环保型分段控制菱镁矿煅烧工艺研究 [D]. 辽宁: 辽宁科技大学, 2016.
- [9] 崔鑫, 邓敏. 氧化镁制备方法、活性与水化测定方法综述 [J]. 硅酸盐通报, 2008, 27(11): 136-141.
- [10] 钱海燕, 邓敏, 张少明. 菱镁矿煅烧活性氧化镁试验研究 [J]. 非金属矿, 2004, 27(6): 1-2.
- [11] 张伟党, 钱海燕, 孔庆刚. 菱镁矿制备活性氧化镁研究 [J]. 非金属矿, 2007, 30(5): 9-11.
- [12] 周相廷, 刘百年, 汤集刚. 菱镁矿热分解过程研究 [J]. 无机盐工业, 1992(4): 10-12.
- [13] 崔崇, 彭长琪, 崔可浩, 等. 影响菱镁矿燃烧氧化镁粉活性的因素 [J]. 武汉理工大学学报, 1993, 15(3): 42-48.
- [14] 肖学英, 何荣昌, 孙庆国, 等. 肃北菱镁矿焙烧条件与镁水泥性能的关系 [J]. 盐湖研究, 1999, 7(4): 49-54.
- [15] 关岩, 毕万利, 张玲. 低品位菱镁矿煅烧制备活性氧化镁试验 [J]. 冶金能源, 2015, 35(4): 33-36.
- [16] 张守治, 刘加平, 田倩, 等. 制备工艺参数对轻烧氧化镁膨胀剂性能的影响 [J]. 膨胀剂与膨胀混凝土, 2010(1): 24-27.
- [17] 张强, 何宏平, 陶奇. 菱镁矿煅烧参数优化及其产物水化动力学解析 [J]. 中国有色金属学报, 2016, 26(3): 699-706.
- [18] 任伟康, 刘百宽, 田晓利. 新疆和静菱镁矿热分解特性及轻烧工艺研究 [J]. 硅酸盐通报, 2016, 35(11): 3556-3561, 3568.
- [19] 吴建国, 杜东兴, 于陶然, 等. 菱镁矿煅烧特性的试验研究 [J]. 冶金能源, 1997, 16(1): 50-52.
- [20] 王小娟, 任爽, 武艳妮, 等. 煅烧非晶质菱镁矿对氧化镁活性的影响 [J]. 盐业与化工, 2010, 39(1): 7-10.
- [21] 李兆恒, 杨永民, 蔡杰龙, 等. 煅烧工艺对 MgO 反应活性及微观结构的影响 [J]. 广东水利水电, 2017, (3): 17-23.
- [22] 陆安群, 田倩, 李华, 等. 煅烧制度对 MgO 膨胀剂组成结构及膨胀性能的影响 [J]. 混凝土与水泥制品, 2017, (4): 8-12.
- [23] 李兆恒, 杨永民, 侯维红, 等. 旋窑和立窑生产轻烧 MgO 膨胀剂性能的比较分析 [J]. 广东水利水电, 2017, (6): 29-32.
- [24] 黄光许, 段宾, 孔晓东, 等. 活性氧化镁的制备及其对煤的黏结作用 [J]. 煤炭学报, 2016, 41(5): 1287-1293.
- [25] 田露, Arash Tahmasebi, 李先春, 等. 氧化镁活性及用于烟气脱硫的试验研究 [J]. 化工矿物与加工, 2015(4): 22-28.
- [26] 李环, 苏莉, 于景坤. 利用菱镁矿制备高活性氧化镁 [J]. 耐火材料, 2006, 40(4): 294-296.
- [27] 邓玉芬, 白丽梅, 张俊, 等. 菱镁矿阶梯化煅烧制备活性氧化镁 [J]. 非金属矿, 2017, 40(1): 16-18.
- [28] 王政, 冯爱玲, 赵磊, 等. 利用菱镁矿粉状尾矿制备氧化镁工艺研究 [J]. 无机盐工业, 2016, 48(5): 55-57.
- [29] 彭强, 郭玉香, 曲殿利, 等. 悬浮态煅烧菱镁矿制备高活性轻烧氧化镁 [J]. 耐火材料, 2017, 51(4): 264-267.
- [30] 周宝余, 李志坚, 吴锋, 等. 用菱镁矿碎矿生产烧结镁砂的试验研究 [J]. 耐火材料, 2015, 49(2): 137-139.
- [31] 李楠, 陈荣荣. 菱镁矿煅烧过程中氧化镁烧结与晶粒生长动力学的研究 [J]. 硅酸盐学报, 1989, 17(1): 64-69.
- [32] 叶甫祥, 李杨仪, 吕士魁. 海城菱镁矿轻烧动力学模型的探讨 [J]. 金属矿山, 1983(12): 40-44.
- [33] 路贵民, 邱竹贤. 菱镁矿煅烧动力学 [J]. 轻金属, 1992(6): 36-39.
- [34] 徐道诚. 菱镁矿轻烧动力学及其活性的研究 [J]. 轻金属, 1986(11): 40-49.
- [35] 彭强, 郭玉香, 曲殿利. 菱镁矿热分解的动力学研究 [J]. 硅酸盐通报, 2017, 36(6): 1887-1890.
- [36] 白丽梅, 邓玉芬, 李小雪, 等. 细粒级菱镁矿热分解动力学机理研究 [J]. 非金属矿, 2016, 39(5): 7-9.
- [37] 韦仕禄, 高慨, 王胜利. 煅烧小颗粒菱镁矿用隧道窑节能的改造设计 [J]. 应用能源技术, 2008(1): 36-38.
- [38] 饶东生, 林彬荫. 菱镁矿轻烧、研磨、煅烧后颗粒形貌观察 [J]. 武汉科技大学学报: 自然科学版, 1985(1): 15-21.
- [39] 饶东生, 林彬荫, 朱伯铨. 降低高纯氧化镁烧结温度的研究 [J]. 硅酸盐学报, 1989, 17(1): 75-81.
- [40] 徐兴无, 饶东生. 氯化镁添加剂对菱镁矿轻烧粉末性质的影响 [J]. 硅酸盐学报, 1989, 17(1): 70-74.
- [41] 程玉保. 多层炉轻烧氧化镁粉烧结性能的研究 [J]. 武汉科技大学学报: 自然科学版, 1987(4): 11-18.
- [42] 李环, 于景坤, 匡世波. 菱镁石轻烧水化法制备高密度烧结镁砂 [J]. 耐火材料, 2007, 41(2): 122-125, 129.
- [43] 陈昌林, 侯光, 崔曦文, 等. 高纯镁砂制备生产工艺 [J].

耐火与石灰,2017,42(1):5-8.

[44] 张丹丹,李志坚,吴锋,等.重烧镁砂竖窑烧成带防粘
结耐火材料的选择[J].硅酸盐通报,2015,34(1):294-297.

[45] 薛亮,曲殿利,郭玉香,等.载荷对菱镁矿煅烧过程的
影响[J].冶金能源,2013,32(3):35-37.

[46] 吴锋,周宝余,李志坚,等.块状菱镁矿原矿热压烧结
性能[J].硅酸盐学报,2014,42(12):1600-1604.

[47] 周宝余,李志坚,吴锋,等.块状菱镁矿烧结中期液相
烧结行为[J].辽宁科技大学学报,2014,37(5):493-497.

[48] 栾旭,周宝余,李志坚,等.块状菱镁矿高温烧结动力
学[J].人工晶体学报,2015,44(6):1701-1712.

[49] 李军,宋伟.电熔镁产业发展研究[J].冶金能源
2010,29(4):8-10.

[50] 刘润静,徐恺,张腾腾.我国轻烧粉、重烧粉及电熔镁

砂生产现状分析[C].中国无机盐工业协会钙、镁盐分会
会议论文集,江苏无锡:2014,62-69.

[51] 马文来,邢琳琳,薛红芳.电熔镁控制技术的发展现状
与展望[J].滨州学院学报,2007,23(6):57-60.

[52] 闫占伟.电熔镁炉熔炼过程工艺参数优化指导软件
的研究与开发[D].沈阳:东北大学,2008.

[53] 李杨,林诗美,陈志列,等.工业物联网菱镁矿冶炼智
能化管理系统[J].机电工程技术,2016,(22):333-338.

[54] 罗仙平,李建康,徐徽,等.电熔镁砂制备工艺及熔炼
过程[J].盐业与化工,2016(8):8-13.

[55] 齐国超,张卫军,仝永娟,等.电熔镁电弧炉炉体优化
设计[J].冶金能源,2003,24(7):34-36,47.

[56] 秦勤,岳强,顾根华,等.双电极直流电熔镁埋弧电
弧炉[J].东北大学学报:自然科学版,2003,24(7):685-688.

Domestic Progress in Preparation of Magnesia from Magnesite by Heat Treatment

Wang Qianqian, Chen Zhonghang, Li Xiaolan, Dai Shujuan

(College of Mining Engineering, University of Science and Technology Liaoning, Anshan, Liaoning, China)

Abstract: Magnesia is a widely used inorganic chemical product. Magnesite is an advantageous resource in China, and also an important source of magnesia. There are three methods to preparing magnesia from magnesite using heat treatment: light burning, dead burning and melt. In recent years, domestic researches have been studying control parameters, product performance, process, and mechanism of these methods

Keywords: Magnesite; Magnesia; Calcination; Light burning; Dead burning

////////////////////////////////////
(上接 50 页)

Investigation on the Bayer Dissolving Method for High-sulfur and Iron Bauxite in Guangxi

Chen Yanqing

(Guangxi Geological Mineral Test Research Center, Nanning, Guangxi, China)

Abstract: Based on the characteristics of the high-sulfur and iron diasporic bauxite in Guangxi, leaching alumina by Sulfur flotation and then Bayer process was carried out. The results showed that the high sulfur bauxite can be desulfurized by flotation method, and desulfurized alumina concentrate can be dissolved by Bayer dissolving method. The optimum conditions were digestion temperature of 260℃, digestion time of minutes 45 min, caustic ratio of 1.4, lime dosage of 10% to bauxite, caustic alkali concentration of 260 g/L. Under the optimum conditions, the digestion rate of alumina was 99.40%.

Keywords: Bauxite; Flotation; Bayer process; Digestion rate