

[文章编号] 1004-0609(2000)05-0705-05

一水硬铝石型铝土矿焙烧-碱浸脱硅新工艺(II)^①

李光辉, 姜涛, 范晓慧, 黄柱成, 邱冠周

(中南工业大学 矿物工程系, 长沙 410083)

[摘要] 在烧结杯上模拟带式焙烧机进行了铝土矿的焙烧脱硅试验。结果表明: 采用带式焙烧机焙烧铝土矿是可行的。获得的焙烧工艺条件为: 矿石粒度 0~5 mm, 焦粉用量 3.4%, 混合料水分 7.5%, 950 ℃点火 1 min, 800 ℃保温 2 min, 点火负压 3 kPa, 焙烧负压 7 kPa。采用苛性碱溶出脱硅, 焙烧矿脱硅率可达 43.45%, 精矿 A/S=8.31。X 射线衍射分析表明: 焙烧过程中高岭石发生热分解产生的非晶态 SiO₂, 经碱处理后溶于 NaOH 而被脱除。高压溶出试验表明: 脱硅铝精矿中 Al₂O₃ 的溶出率比原矿高。

[关键词] 一水硬铝石型铝土矿; 化学选矿; 脱硅

[中图分类号] TD927.2; TD925.6

[文献标识码] A

采用回转窑作铝土矿焙烧设备的最大优点是矿石在窑内受热比较均匀, 因而焙烧效果较好, 焙烧矿脱硅率较高。但是采用回转窑焙烧铝土矿时, 焙烧能耗较高, 生产规模相对较小(回转窑充填率低), 单位产量投资大, 而且大型回转窑的制造精度要求高, 操作控制比较复杂, 因此考虑采用一种生产能耗相对较低, 生产规模可大可小, 操作控制相对简单而又比较灵活的焙烧设备——带式焙烧机来代替回转窑进行铝土矿的焙烧。

为研究采用带式焙烧机焙烧铝土矿的可行性和寻求合理的焙烧工艺制度, 在实验室里用烧结杯模拟带式焙烧机进行了试验研究。

1 试验设备及研究方法

焙烧设备是直径为 d 180 mm, 高为 500 mm 的烧结杯。试验时, 称取一定质量的铝土矿, 按配比加入焦粉和水, 经混匀后在 d 600 mm 的圆盘造球机中制粒 5 min。将混合料装入烧结杯中, 点火(点火燃料采用液化石油气)、抽风焙烧。在矿石的整个焙烧过程中对抽出来的废气温度进行在线检测。当废气温度达到最高值时, 表示焙烧达到终点, 焙烧过程结束, 继续抽风冷却 2 min 后将矿石卸出、破碎、取样。

冷却到室温的焙烧矿采用 XZM-100 型干式振动磨矿机, 将矿石磨至规定粒度后, 再进行焙烧矿

的溶出脱硅。

2 试验结果与讨论

在确定了操作制度后, 分别进行了矿石粒度、燃料粒度、用量及添加方式, 混合料水分, 添加剂强化焙烧等的研究。有关操作参数为: 料层高度 250 mm, 950 ℃温度下点火 1 min 后在 800 ℃下保温 2 min, 点火负压为 3 kPa, 焙烧负压为 7 kPa。

2.1 焙烧制度

2.1.1 矿石粒度

研究了在烧结杯中不同粒级铝土矿的焙烧情况, 矿石粒度分别为 0~1 mm, 0~3 mm, 0~5 mm, 0~6.3 mm, 0~10 mm, 结果见图 1。由图 1 可知, 矿石粒度对焙烧效果影响较大, 当粒度为 0~5 mm 时焙烧矿脱硅率达最大值, 而粒度过大与过小时脱硅效果均不是很好。其原因是矿石粒度偏大时, 焙烧矿“内生外熟”, 铝土矿内部因焙烧不够, 高岭石未充分发生热分解反应而产生无定形 SiO₂, 因而脱硅率低; 当矿石粒度偏小时, 细粒铝土矿易于因焙烧过度, 使已经分解产生的可溶性 SiO₂ 发生莫来石化反应^[1~3], 以致这一部分硅同样不能被脱除。

矿石粒度对脱硅率的影响是由烧结杯这种焙烧设备本身的特点所决定的。用烧结杯来焙烧时, 由于抽风缘故, 料层中的高温区以一定速度逐渐向下

① [基金项目] 国家重点基础研究发展规划(“973”计划)项目(G1999064901)

[收稿日期] 1999-12-18; [修订日期] 2000-03-06

[作者简介] 李光辉(1972-), 男, 博士研究生。

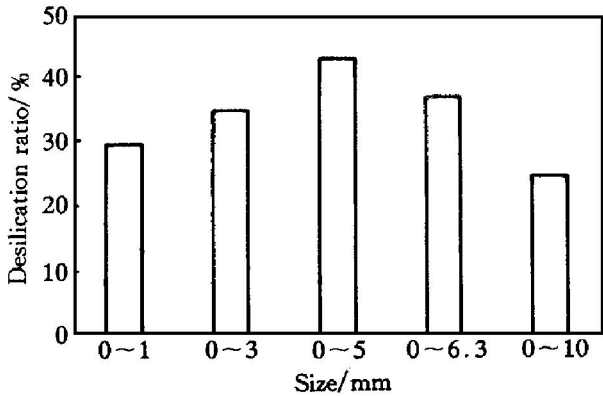


图 1 铝土矿粒度与焙烧矿脱硅率的关系

Fig. 1 Relation between size and desilication ratio
(Water content 7.5%; Dosage of coke 3.4%;
Dosage of F additive 0.7%)

移动, 高温段在某一截面上的保持时间基本上不变, 即当操作制度确定后, 料层中矿石的焙烧时间基本不变^[4]。因此, 欲获得好的焙烧效果就要求矿石粒度与料层中高温保持时间相匹配, 以保证粗粒矿石不会因欠烧而导致铝硅矿物分解不够, 而细粒矿石因过烧导致莫来石大量生成。

2. 1. 2 燃料对焙烧的影响

矿石焙烧所需要的热量主要由配入混合料中的固体燃料焦粉燃烧提供, 因而焦粉用量对铝土矿焙烧过程和焙烧效果均有影响。分别加入 3.0%, 3.4%, 3.8% 和 4.2% 进行焙烧, 试验结果如图 2 所示。由图 2 可知, 焦粉用量对铝土矿焙烧有很大影响, 从焙烧矿的脱硅率来看, 当其用量为 3.4% 时焙烧效果最好。

为了解焦粉用量对铝土矿焙烧的影响, 测定了焙烧过程中料层中的最高温度。测定方法是: 将一

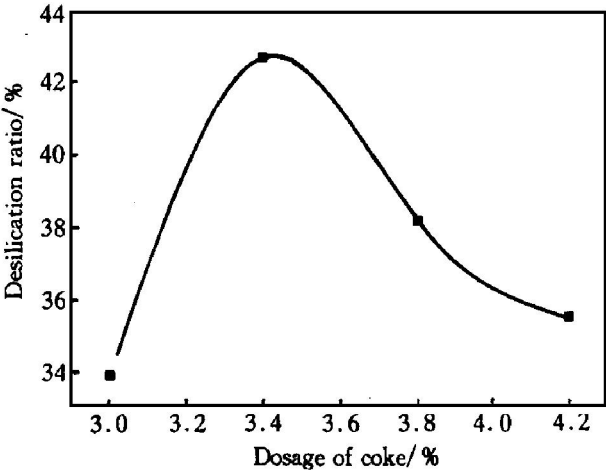


图 2 焦粉用量与焙烧矿脱硅率的关系

Fig. 2 Relation between dosage of coke and
desilication ratio
(Ore size 0~ 5 mm; Water content 7.5%;
Dosage of F additive 0.7%)

支装有保护套的铂铑-铂热电偶直接埋入料层中, 对焙烧过程中的温度进行在线检测, 每隔一定时间读取一个温度值, 记录下其所达到的最高温度值。试验结果见表 1。

表 1 焦粉用量对料层最高温度的影响

Table 1 Influence of dosage of coke on the
highest temperature in bed

Dosage of coke/%	3.0	3.4	3.8	4.2
Temperature/℃	1 040	1 150	1 210	1 300

测定结果表明, 焦粉用量每增加 0.4%, 料层中最高温度就升高 60~ 110 ℃。当焦粉用量较大 (大于 3.4%) 时, 由于供给料层的总热量相对较大, 料层最高温度接近或超过 1 200 ℃, 甚至达到 1 300 ℃, 这无疑会促进莫来石的大量生成, 使焙烧矿的脱硅率降低; 但是当焦粉用量偏低 (3.0%) 时, 料层中的温度较低, 这表明料层供给的热量不够, 矿石焙烧不充分, 所以焙烧矿的脱硅率更低。

除了用量对铝土矿的焙烧有影响外, 焦粉的粒度和添加方式对铝土矿的焙烧也有一定的影响, 试验结果见表 2。

表 2 焦粉粒度和添加方式对铝土矿焙烧效果的影响

Table 2 Influence of size and adding way of
coke on roasting results

Coke size/mm	Dosage/%	Adding way	Desilication ratio/%
0~ 1	3.4	Coated	42.66
0~ 1	3.4	Contained	38.71
0~ 3	3.4	Contained	36.59
0~ 5	3.4	Contained	35.12

当焦粉粒度减小时 (0~ 1 mm), 增加了燃料在混合料中的分布点, 减少了因粒度差别大导致其在料层中的偏析, 使焦粉在混合料中的分布更趋均匀, 从而避免了局部高温或低温产生, 使整个料层温度分布更为均匀, 确保了铝土矿焙烧的均匀性, 改善了焙烧效果。另外, 当焦粉以外滚的形式加入时, 细粒焦粉能更好地粘附在制粒小球上。

从表 2 还可以看出, 采用不同添加方式 (内配与外滚) 对铝土矿的焙烧也有影响。焦粉内配是指先将焦粉与铝土矿加水混匀, 然后一起制粒。这种添加方式使绝大部分焦炭颗粒被紧紧包裹在制粒小球内部, 难与氧气接触, 燃烧条件不好, 燃烧不充分。当焦粉用量一定时, 燃料不充分燃烧导致供给料层的热量不够, 矿石焙烧不充分。甚至有的因不能接触到氧气, 未着火燃烧, 导致燃料燃烧在料层

中熄灭, 使整个焙烧过程无法进行。为避免这种情况发生, 将焦粉改以外滚方式加入, 即将铝土矿与水混匀后先制粒一定时间后, 再加入焦粉继续滚动一段时间, 使其粘附于已制成粒的小球外表面, 这样由于焦粉处于气体经过的通道上, 大大改善了与氧气接触的条件, 因此燃烧条件好, 燃烧充分, 既能保证料层焙烧所需的温度, 又能尽量保证料层中温度场分布均匀, 还能降低燃料消耗^[5~8]。

2.1.3 混合料水分

铝土矿混匀制粒时加入一定量水分其主要作用是把细粒级原料制成一定粒径的小球, 使料层具有一定透气性, 以保证料层中燃料的燃烧, 并避免细粒状矿石因粒度太小而焙烧过度。当焦粉外滚时加入水还利于焦粉粘附在制粒小球外表。

混合料水分对铝土矿焙烧的影响如图 3 所示。结果表明, 混合料最佳水份为 7.5%。

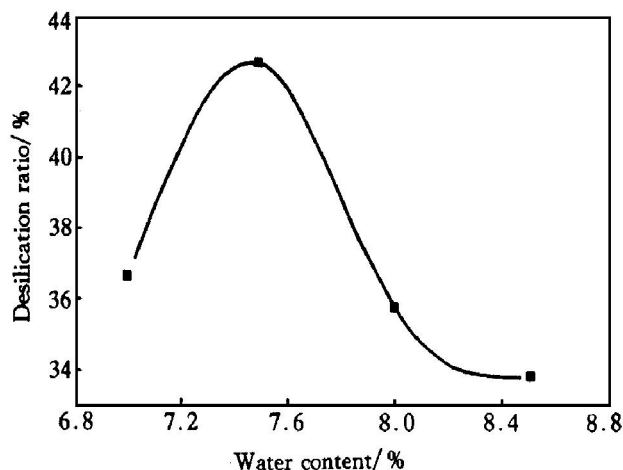


图 3 混合料水份与焙烧矿脱硅率的关系

Fig. 3 Relation between Water content and desilication ratio

(Ore size 0~5 mm; Dosage of coke 3.4%;
Dosage of F additive 0.7%)

2.1.4 添加 F 粘结剂强化焙烧过程

为了强化铝土矿的焙烧, 进一步改善焙烧效果, 提高矿石的脱硅率, 进行了添加 F 粘结剂强化焙烧的研究。F 粘结剂是一种以褐煤为原料, 经苛性碱处理后制得的、以腐植酸钠为主的复合型粘结剂, 目前主要应用于铁矿粉的造块成型, 把它加入经细磨精选的铁精矿中来生产冷固结铁矿球团, 作为直接还原生产海绵铁的原料。在铁矿球团中它主要起粘结作用。添加 F 粘结剂强化铝土矿焙烧的试验结果如图 4 所示, 可见, 添加 F 粘结剂可提高焙烧矿的脱硅率, 当其用量为 0.6% 左右时, 铝土矿的焙烧脱硅效果最好。

铝土矿焙烧过程中 F 粘结剂的作用有: 1) F 粘

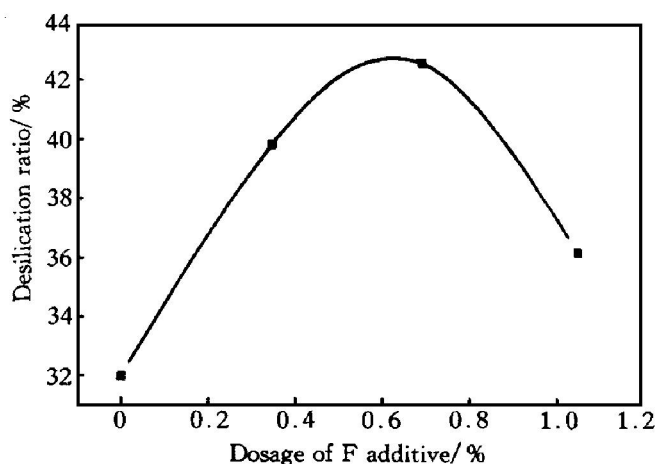


图 4 F 粘结剂用量与焙烧矿脱硅率的关系

Fig. 4 Relation between dosage of F additive and desilication ratio

(Ore size 0~5 mm; Water content 7.5%;
Dosage of coke 3.4%)

结剂具有较好的粘结性, 在制粒过程中它可改善混合料的制粒性能, 使细小颗粒粘附在一起变成一定粒径的小球, 增加料层的透气性, 同时可避免细粒级的铝土矿焙烧过度, 保证矿石焙烧的均匀性; 2) 能显著改善焙烧时料层中的传质、传热过程, 使料层中温度场分布均匀。根据陈海峰等^[9]和李华等^[10]的研究结果, 碱金属阳离子对焦粉的燃烧具有催化助燃作用。F 粘结剂中含有 Na^+ 能促进焦粉燃烧, 改善其燃烧状态; 3) F 粘结剂是一种有机盐, 在高温下能够燃烧放出热量, 当添加量较大时, 燃烧放出的热量多, 导致料层温度偏高, 促进了莫来石的生成反应。所以, 当添加量大于 0.7% 时, 焙烧矿的脱硅率反而降低。此外, 当焦粉外滚时, F 粘结剂的添加有利于焦粉更好地粘结在小球表面, 但由于铝土矿本身的粘性比较好, 因此这种作用在改善铝土矿焙烧效果中不应是主要的。

2.1.5 综合条件试验

通过前面的条件试验, 获得了在烧结杯上焙烧铝土矿各影响因素的最佳值, 将这些最佳条件组合起来进行综合条件试验, 试验条件如表 3 所示。

在上述试验条件下获得的试验结果: 焙烧矿脱硅率 43.45%, 精矿 $\text{A/S} = 8.31$, 优于单因素试验结果。

从脱硅后铝精矿的铝硅比来看, 已能满足拜耳法生产的要求。但是, 这一脱硅结果与采用回转窑焙烧的情况相比, 焙烧矿的脱硅率低。这是因为用烧结杯焙烧铝土矿时, 由于料层中温度分布不均匀, 使矿石的焙烧也存在着一定不均匀性。因此, 为保证矿石焙烧均匀, 其技术关键是要尽量使

表 3 综合试验条件

Table 3 Terms of comprehensive experiment

Ore size / mm	Dosage of coke / %	Water content / %	Ignition terms			Thermal insulation terms		Roasting negative pressure/ kPa	Dosage of F additive / %
			Temperature / °C	Time / min	Negative pressure/ kPa	Temperature / °C	Time / min		
0~ 5	3. 4	7. 5	950	1	3	800	2	7	0. 6

料层中的温度分布均匀。

2. 2 铝精矿 X 射线衍射分析

对脱硅后的铝精矿(焦粉用量为 3. 4%)进行 X 射线衍射分析,其结果如图 5 所示。

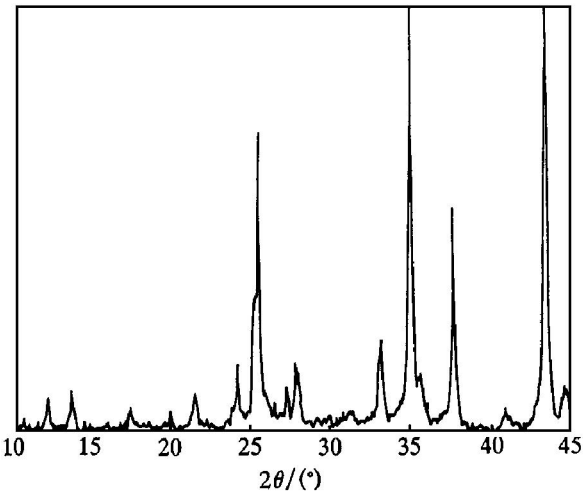


图 5 脱硅铝精矿 X 射线衍射分析图

Fig. 5 X-ray diffraction spectrum of concentrate

由图 5 可看出,所得的 X 射线衍射分析结果与经回转窑焙烧脱硅所得的铝精矿相似,高岭石的衍射峰已经消失,新产生了非晶态 Al₂O₃ 的衍射峰,但 α-石英的衍射峰却依然存在。这同样说明了焙烧矿碱浸脱硅所脱除的是高岭石热解产生的无定型 SiO₂,而非矿石中本身存在的 α-SiO₂。另外,从衍射结果看,铝精矿中还出现了莫来石衍射峰,这说明在焙烧过程中生成了少量莫来石。同样,衍射结果中出现的钠硅渣衍射峰是焙烧矿在溶出脱硅过程中生成的,而不是在铝土矿焙烧时产生的。

2. 3 铝精矿拜耳法溶出性能

为了解用烧结杯焙烧后经碱浸溶出脱硅获得的铝土矿精矿的拜耳法溶出性能,考查了铝精矿的拜耳法溶出行为,并与原矿的拜耳法溶出性能做了比较。铝精矿和原矿的化学成分见表 4。表 5 为高压溶出试验结果。从表 5 可以看出,烧结杯焙烧后经碱浸脱硅所得的铝精矿,其 Al₂O₃ 的理论溶出率、实际溶出率和相对溶出率与原矿相比都有较大幅度提高。

表 4 脱硅后铝精矿的化学组成

Table 4 Chemical composition of concentrate

Sample	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O
Raw ore	60. 12	13. 65	6. 73	2. 80	0. 36
Concentrate	74. 29	8. 94	7. 69	3. 95	0. 40

Sample	Na ₂ O	CaO	MgO	A/S
Raw ore	0. 14	0. 94	0. 12	4. 4
Concentrate	0. 16	1. 21	0. 18	8. 31

表 5 铝土矿高压溶出试验结果

Table 5 Results of digestion by Bayer process

Sample	A/ Dosage of aluminate solution/ mL	Dosage of lime/ %
Raw ore	4. 4	100
Concentrate	8. 31	100

Sample	Temperature/ °C	Time/ min	η _t / %	η _a / %	η _r / %
Raw ore	270	60	77. 27	64. 12	82. 98
Concentrate	270	60	87. 93	85. 51	97. 24

η_t, η_a and η_r refer to the theoretical, actual, and relative digestion rates of Al₂O₃ of the concentrate, respectively.

[REFERENCES]

[1] LIU Yong-kang(刘永康). 一水硬铝石型铝土矿化学选矿中焙烧过程的研究 [D]. Changsha: Central South University of Technology, 1997.

[2] LUO Lin(罗琳). 一水硬铝石型高硅铝土矿化学选矿脱硅与综合利用研究 [D]. Changsha: Central South University of Technology, 1997.

[3] QIU Zhen-zhuo(仇振琢). 铝土矿预脱硅工艺的改进 [J]. Light Metals(轻金属), 1985(9): 9– 12.

[4] FU Ju-ying(傅菊英), JIANG Tao(姜涛) and ZHU De-qing(朱德庆). 烧结球团学 [M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1995. 27– 58.

[5] LI Guang-hui(李光辉), LI Si-dao(李思导), JIANG Tao(姜涛), et al. 烧结过程中燃料利用率的提高 [J]. Sintering and Pelletizing(烧结球团), 1998, 23 (5): 29– 33.

[6] LI Yi-sheng(李益慎). 燃料分加技术评价 [J]. Mining and Metallurgical Engineering(矿冶工程), 1994, 14 (suppl. 2): 308– 314.

[7] FENG Gen-sheng(冯根生), GAO Wei-min(高为民) and ZHANG Zong-wang(张宗旺). 小球团烧结法的燃料分加问题 [J]. Mining and Metallurgical Engineering

- (矿冶工程), 1998, 18(suppl. 1): 206– 207.
- [8] REN Zhi-guo(任志国), XIE Hua(谢 华), LIU Wang-Xun(柳望洵), et al. 燃料分加对小球团烧结过程的影响 [J]. Mining and Metallurgical Engineering(矿冶工程), 1998, 18(suppl. 1): 208– 213.
- [9] CHEN Hai-feng(陈海峰), SHA Xing-zhong(沙兴中), XU Yi-qing(徐依青), et al. 催化剂对煤着火特性的影响 — II 不同催化剂对煤着火的影响 [J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology(燃料化学报), 1993(2): 180– 184.
- [10] LI Hua(李 华) and LIN Qi(林 器). 碱土金属、碱金属和过渡金属对煤的催化氧化作用 [J]. Journal of Dalian University of Technology(大连理工大学学报), 1989, 29(3): 289– 294.

Technology of desilication from diasporic bauxite by roasting-alkali leaching process(II)

LI Guang-hui, JIANG Tao, FAN Xiao-hui, HUANG Zhu-cheng, QIU Guan-zhou
(Department of Mineral Engineering, Central South University of Technology,
Changsha 410083, P. R. China)

[Abstract] The roasting process of the desilication from diasporic bauxite was studied on sintering cup simulating grate machine. It is shown that using grate machine as the roasting apparatus of bauxite is practicable. The optimum roasting parameters for grate machine are: size of ore 0~ 5 mm, coke (size < 1 mm and coated on mixer surface) consumption 3.4%, ignition temperature 950 °C, ignition time 1 min, thermal insulation at 800 °C for 2 min, water content 7.5%, negative pressure of ignition 3 kPa, negative pressure of roasting 7 kPa, dosage of F additive 0.6%. By alkali leaching, rate of desilication 43.45% and A/S of the concentrate 8.31, were obtained. By means of X-ray diffraction analysis, the following conclusions can be made: only Si existing in kaolinite can be changed into noncrystalline SiO₂, during the digestion, this kind of SiO₂ is dissolved in NaOH solution, but α-SiO₂ does not dissolve, so it is not contributive to desilication. The digestion of the concentrate by Bayer process also shows that the digestion ratio of Al₂O₃ of the concentrate is higher than that of the raw ore.

[Key words] diasporic bauxite; chemical processing; desilication

(编辑 彭超群)