

doi:10.3969/j.issn.1007-7545.2022.02.007

碱溶—碳分法生产氧化铝过程中的质量控制

马科友¹,王红伟¹,张学英¹,董凯伟²,
马靖威³,潘晓林²

(1. 济源职业技术学院 冶金化工系,河南 济源 459000;
2. 东北大学 冶金学院,沈阳 110819;
3. 广西大学 化学化工学院,南宁 530004)

摘要:碱溶—碳分法生产氧化铝打破了拜耳法 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ 体系固有的相平衡,分解效率大幅度提高。研究了用 NaOH 溶液溶解铝土矿得到铝酸钠溶液,考察了铝酸钠溶液脱硅净化、碳酸氢钠分解及氢氧化铝焙烧对氧化铝产品质量的影响。结果表明,经两次石灰净化脱硅(净化温度 98 ℃;一次净化时间 1 h,石灰添加量 15 g/L;二次净化时间 1 h,石灰添加量 10 g/L),二段分解(分解温度 90 ℃,碳酸氢钠质量浓度 90~100 g/L,缓慢持续加入,分解时间不大于 16 h(其中一段 8~10 h),第一段分解率控制在 85% 左右),适宜条件下,所得氢氧化铝质量达到一级品或接近一级品,在 1 200~1 250 ℃ 焙烧后所得氧化铝产品质量可达二级品要求。

关键词:碳酸化分解;脱硅;焙烧;氢氧化铝;氧化铝;质量控制

中图分类号:TF821

文献标志码:A

文章编号:1007-7545(2022)02-0040-08

Quality Control of Alkali Dissolution - Carbonation Precipitation Process for Alumina Producing

MA Ke-you¹, WANG Hong-wei¹, ZHANG Xue-ying¹, DONG Kai-wei²,
MA Jing-wei³, PAN Xiao-lin²

(1. Metallurgical and Chemical Department, Jiyuan Vocational and Technical College, Jiyuan 459000, Henan, China;
2. School of Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, China;
3. College of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: Alkali dissolution - carbonation precipitation process for alumina producing is a new process, which equilibrium of $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ system in Bayer process is broken and production efficiency is enhanced significantly. Applying sodium aluminate solution leached by NaOH solution as raw materials, effects of desilication from sodium aluminate solution, decomposition of sodium aluminate with sodium bicarbonate, carbonization with sodium bicarbonate, and aluminum hydroxide roasting process on quality of products were investigated. The results show that quality of first-stage aluminum hydroxide meets or close to the standard of the first grade under the suitable conditions of twice purification desilication with lime (desilication temperature of about 98 ℃, first stage purification time of 1 h with lime addition of 15 g/L, and second stage purification time of 1 h with lime addition of 10 g/L), and two-stage decomposition of

收稿日期:2021-10-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51104041,22078055)

作者简介:马科友(1971-),男,学士,副教授

sodium aluminate solution (decomposition temperature of 90 °C, concentration of sodium bicarbonate solution of 90~100 g/L, decomposition time of first stage of 8—10 h, total decomposition time of 16 h below, and decomposition ratio first stage of about 85%). The quality of alumina products of aluminum hydroxide calcined at 1 200—1 250 °C can reach the requirements of second grade products.

Key words: carbonization; desilication; roasting; aluminum hydroxide; alumina; quality control

目前,国内外工业生产氧化铝主要有拜耳法、烧结法和拜耳烧结联合法^[1-3]。拜耳法流程简单、能耗低,成本较低,氧化铝产品质量好,但在分解过程中需使用大量氢氧化铝晶种,分解率低(50%左右),分解时间长(50~60 h)^[4],以处理高铝硅比(A/S)矿石为主(A/S>7)^[5];烧结法能有效处理低品位矿石,采用碳酸化分解(碳分),分解率高达92%,分解时间只有4~5 h^[6],碱耗低,但能耗高,而且碳分过程中溶液中的SiO₂易析出,导致氧化铝产品质量较差^[7];联合法工艺流程异常复杂,操作技术难度较大,能耗较高。

拜耳法的基本原理是Na₂O-Al₂O₃-H₂O体系三相浓度平衡构成拜耳循环,受“拜耳法循环”束缚,分解效率低,氧化铝产率低,能耗高^[8-9]。碱溶—碳分法^[10]综合了拜耳法和烧结法的优点,克服了其缺点,用纯NaOH溶液溶出铝土矿中的氧化铝获得铝酸钠溶液,NaHCO₃分解铝酸钠溶液生成Al(OH)₃,膜电解碳分母液即Na₂CO₃溶液使NaHCO₃溶液和NaOH溶液再生,提高了溶出和分解效率^[11-12]。

NaHCO₃分解(碳分)是碱溶—碳分法的核心技术之一,其产品质量的控制是决定该工艺成败的关键。本文以纯NaOH溶液溶出铝土矿得到的铝酸钠溶液为原料,进行脱硅净化、NaHCO₃分解和Al(OH)₃焙烧试验,以探索产品Al(OH)₃质量与分解率的最佳匹配及产品质量控制的适宜条件,为实现碱溶—碳分法生产氧化铝提供参考。

1 试验部分

1.1 试验原料

铝酸钠溶液:由纯NaOH溶液在273 °C下高压溶出一水硬铝石型铝土矿得到的溶出液。铝酸钠溶液的化学成分见表1。

赤泥:用于净化铝酸钠溶液,取自中铝河南分公司生产现场拜耳分离沉降槽底流,化学成分(%):Fe₂O₃ 8.99、Al₂O₃ 26.55、SiO₂ 16.09、CaO_合 17.60、TiO₂ 3.83、K₂O 1.97、Na₂O 6.10、MgO 2.23、LOI(灼减) 15.06;

表1 铝酸钠溶液的化学成分

Table 1 Chemical compositions of sodium aluminate solution

序号	溶液成分/(g·L ⁻¹)					α_K
	Na ₂ O _T	Al ₂ O ₃	Na ₂ O _K	Na ₂ O _C	SiO ₂	
1	168.4	187.83	156	12.40	1.44	1.37
2	163.6	184.21	151	12.60	1.42	1.35
3	165.0	175.65	152	13.00	1.02	1.42
4	167.2	172.69	148	19.20	1.41	1.41
5	168.4	187.83	156	12.40	1.44	1.37
6	161.2	178.29	153	8.20	1.29	1.41
7	161.8	179.27	150	11.80	1.34	1.38

石灰:用于净化铝酸钠溶液,取自中铝河南分公司生产现场,化学成分(%):CaO_合 87.60、CaO_{有效} 77.29、Fe₂O₃ 0.38、Al₂O₃ 0.60、SiO₂ 1.64、TiO₂ 0.06。

NaHCO₃溶液:用于分解铝酸钠溶液,取自膜电解产生的NaHCO₃溶液,质量浓度90~100 g/L,碳酸氢钠溶液中的杂质质量浓度(mg/L):Al 3.8、Fe 0.06、Ca 2.2、Mg 0.2、Si 0.2。

1.2 试验设备与方法

赤泥脱硅:赤泥常压脱硅和中压脱硅分别在XYF-Φ44×8钢弹电热控温水浴槽和DY-8型电热控温低压群釜溶出装置(蜡浴)中进行。将过滤后的溶出液、赤泥按比例加入钢弹中,混匀,分别放入预先控温的水浴和蜡浴中,开动搅拌,脱硅净化。脱硅一定时间后,取出钢弹,水冷降温,过滤,分析滤液成分。

石灰脱硅:过滤后的溶出液与石灰按比例加入烧杯中,混匀,然后放入预先控温的电热控温玻璃水浴中,开动搅拌,达到净化时间后,过滤,分析滤液成分。

碳分:脱硅后的铝酸钠溶液(净化液)用NaHCO₃溶液分解。将装有净化液的烧杯放入预先控温的电热控温玻璃水浴中,搅拌,缓慢持续加入NaHCO₃溶液,反应一定时间后过滤,分析滤液中Al(OH)₃质量浓度。

Al(OH)₃焙烧:在SX2-10-13箱式高温电阻炉中进行。碳分得到的Al(OH)₃装入刚玉坩埚中,放入预先控温的电阻炉中加温焙烧,达到保温时间

后自然冷却至室温,取出,分析焙烧产品质量。

上述控温设备控温精度均为±1 °C。

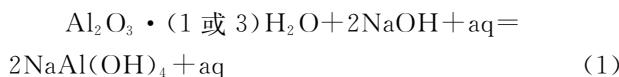
1.3 分析方法

液相成分采用化学滴定法测定,固相中的 SiO_2 、 Fe_2O_3 质量分数采用 722N 型可见光分光光度计测定, Na_2O 质量分数采用 6400A 型火焰光度计测定。产品物相采用 X'Pert Pro MPD X 射线粉末衍射仪分析,产品粒度采用欧莫克 LS800 激光粒度仪分析,产品白度采用 WSB-2A 型白度计分析。

2 试验结果及讨论

2.1 溶出液脱硅

碱法溶矿的基本原理是用一定浓度的 NaOH 溶液溶解铝土矿中的 Al_2O_3 ,得到铝酸钠溶液:



铝土矿中的各种杂质则与碱起反应生成固体物质进入赤泥,其中硅矿物在溶出时大部分以含水铝硅酸钠($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)形式进入赤泥,溶出液中的少量 SiO_2 在分解过程中会随 Al(OH)_3 一起析出,影响产品的质量^[13]。所以,碳分之前须

进行脱硅处理。

铝酸钠溶液脱硅主要有赤泥中压脱硅(脱硅温度通常在 148~160 °C)和常压脱硅、石灰常压脱硅(脱硅温度通常在 95~100 °C)^[14]。

铝酸钠溶液脱硅过程的实质是使其中的 SiO_2 转变为溶解度很小的化合物沉淀析出。赤泥脱硅是基于 SiO_2 在工业铝酸钠溶液中呈过饱和的介稳状态,能与溶液中的铝酸钠反应生成含水铝硅酸钠沉淀,但含水铝硅酸钠的晶核很难自发生成,添加赤泥能起到结晶核心的作用,可以提高脱硅速度和深度;石灰脱硅的原理是石灰能和铝酸钠溶液作用生成含水铝酸钙,并进而生成溶解度很小的水化石榴石($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot (6-2x) \cdot \text{H}_2\text{O}$)^[15]。

以表 1 中的铝酸钠溶液为原料,开展脱硅试验,考察了脱硅方式、石灰添加量等对脱硅的影响。试验条件及结果见表 2。从表 2 可见,添加石灰脱硅,溶液硅量指数可由 122 提高到 673;采用两次石灰脱硅,溶液硅量指数可由 138 提高到 940;赤泥中压脱硅后再进行两次石灰脱硅,溶液中的硅可降至 0.1 g/L 以下,但这种脱硅方式能耗高、流程复杂。

表 2 脱硅试验条件与结果

Table 2 Experimental conditions and results of desilication

脱硅方式	试验条件	溶液	$\text{Al}_2\text{O}_3/\%$	$\text{SiO}_2/\%$	硅量指数
赤泥常压脱硅	赤泥 60 g/L, 98 °C, 净化 6 h	溶出液	187.83	1.44	130
	净化液	146.70	0.68	216	
赤泥中压脱硅	赤泥 60 g/L, 150 °C, 净化 2 h	溶出液	184.21	1.42	130
	净化液	157.23	0.46	342	
石灰脱硅	石灰 15 g/L, 98 °C, 净化 3 h	溶出液	175.65	1.02	172
	净化液	168.82	0.52	325	
	石灰 30 g/L, 98 °C, 净化 3 h	溶出液	172.69	1.41	122
	净化液	161.51	0.24	673	
赤泥中压脱硅+石灰脱硅	第一段:赤泥 60 g/L, 150 °C, 净化 2 h;	溶出液	187.83	1.44	130
	第二段:石灰 15 g/L, 98 °C, 净化 1 h	净化液	158.88	0.16	993
两次石灰脱硅	第一段:石灰 15 g/L, 98 °C, 净化 1 h;	溶出液	178.29	1.29	138
	第二段:石灰 10 g/L, 98 °C, 净化 1 h	净化液	141.03	0.15	940
赤泥中压脱硅+两次石灰脱硅	第一段:赤泥 60 g/L, 150 °C, 净化 2 h;	溶出液	179.27	1.34	134
	第二段:石灰 15 g/L, 98 °C, 净化 0.5 h;	净化液	150.65	<0.1	/
	第三段:石灰 15 g/L, 98 °C, 净化 0.5 h				

温度是影响脱硅的最主要因素,提高脱硅温度能显著加快脱硅速度和提高脱硅深度,但能量消耗大;添加石灰脱硅时,由于生成的水化石榴石中 SiO_2 饱和度很低,溶液中 SiO_2 含量越高,深度脱硅越困难,因此分两次添加石灰脱硅效果明显优于单次石灰净化。综合考虑氧化铝产品质量、产量、能耗等因素,脱硅方式采用两次石灰脱硅为宜。

增加石灰添加量,可明显提高石灰脱硅效果。石灰添加量为 15 g/L 时,3 h 净化后溶液硅量指数由 172 提高到 325,石灰添加量增加到 30 g/L,3 h 净化后溶液硅量指数由 122 提高到 673。但石灰添加量越大,造成氧化铝的损失越大。综合考虑脱硅效果和氧化铝损失量,石灰添加总量控制在 25 g/L,一次净化 15 g/L,二次净化 10 g/L。

2.2 碳分

碳分试验是将净化液在一定温度下保温搅拌,加入 NaHCO_3 溶液使之反应,析出氢氧化铝,并得到 Na_2CO_3 溶液。分解过程发生的主要反应如式(2)所示:



以表2中两段石灰常压脱硅后的净化液为原料,加入 NaHCO_3 溶液进行分解,研究了分解温度、分解制度、 NaHCO_3 溶液浓度等因素对产品氢氧化铝质量的影响。溶出液及净化液成分见表3。将本次试验得到的氢氧化铝和氧化铝产品分析结果与氧化铝国家有色金属行业标准(YS/T274—1998)和氢氧化铝国家标准(GB/T4294—1997)^[16]对比以确定所得产品的等级。

表3 溶出液及净化液成分

Table 3 Compositions of digestion solution and purification solution

溶液名称	溶液成分/(g·L ⁻¹)					α_K	硅量指数
	Na_2O_T	Al_2O_3	Na_2O_K	Na_2O_C	SiO_2		
溶出液	161.20	178.29	153.0	8.20	1.29	1.41	138
净化液	151.20	141.03	144.0	7.20	0.15	1.68	940

2.2.1 分解温度对氢氧化铝产品质量的影响

分解温度直接影响铝酸钠溶液的稳定性、分解速度、分解率以及氢氧化铝的质量^[17]。

固定试验条件:分解时间4 h、 NaHCO_3 溶液质

量浓度100 g/L(缓慢持续加入),分别在65、70、80、90 °C下进行一段式分解试验,试验结果如表4所示。从表4可以看出,随着分解温度的升高,氢氧化铝产品的杂质含量降低、粒度变粗。65 °C得到的产品质量最差, $-45 \mu\text{m}$ 粒子质量分数高达96.52%,90 °C得到的产品质量最好, $-45 \mu\text{m}$ 粒子质量分数可降至57.35%。这是因为,分解温度升高有利于加快扩散速度和微细粒子的黏结与附聚,而避免和减少新晶核的产生,而且能改善结晶状态,减小氢氧化铝吸附碱和氧化硅的能力^[18]。但分解温度过高,会使氢氧化铝粒度快速长大,加速脱硅反应,降低产品的强度和质量^[19]。

2.2.2 分解制度对氢氧化铝产品质量的影响

分解制度对氢氧化铝质量有重要影响^[20-21]。固定试验条件:分解时间4 h、分解温度90 °C、 NaHCO_3 溶液质量浓度100 g/L(缓慢持续加入),分别进行一段式分解、二段式分解试验,并控制第一段分解率,研究分解制度对产品质量的影响,试验结果如表5所示。从表5可以看出,采用一段式分解,分解率100%时,所得产品中 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 的含量均较高,而且粒度较细。采用二段式分解,第一段分解率控制在85%,所得的一段产品中 SiO_2 和 Na_2O 的含量明显降低,产品质量好,粒度较粗,而二段产品中 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 的含量则明显升高,粒度细。因此,为了控制产品质量,采用二段式分解为宜。

表4 分解温度对氢氧化铝产品质量的影响

Table 4 Effects of precipitation temperature on quality of aluminum hydrate products

分解温度/°C	$\text{SiO}_2/\%$	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\%$	$\text{Na}_2\text{O}/\%$	灼减/%	白度	$-45 \mu\text{m}$ 占比/%
65	0.213	0.008	4.553	36.47	92.46	96.52
70	0.209	0.008	2.286	34.86	98.08	90.21
80	0.126	0.008	2.122	35.53	—	81.78
90	0.108	0.006	1.853	34.54	—	57.35

表5 分解制度对氢氧化铝产品质量的影响

Table 5 Effects of precipitating methods on quality of aluminum hydrate products

分解制度	一段分解率/%	$\text{SiO}_2/\%$	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\%$	$\text{Na}_2\text{O}/\%$	灼减/%	白度	$-45 \mu\text{m}$ 占比/%
一段式分解	100	0.128	0.006	1.913	35.53	—	57.35
二段式分解	85	0.027	0.005	0.532	34.87	80.32	20.56
	100	0.660	0.029	16.88	37.16	92.28	99.23

2.2.3 分解深度对氢氧化铝产品质量的影响

碳分深度在杂质含量和结构两方面影响氢氧化铝的质量,碳分深度控制适当,才能保证产品 Al(OH)_3 的质量和各种技术经济指标取得最佳效

果。固定试验条件:分解时间10 h、分解温度90 °C、 NaHCO_3 溶液质量浓度100 g/L(缓慢持续加入),进行两段式分解试验,控制一段分解率,研究分解深度对产品质量的影响,试验结果如表6所示。从表

6可以看出,随着第一段分解率提高,所得第一段产品中杂质含量逐渐提高,当第一段分解率控制在75%以内时,所得第一段产品能达到一级品质量要求;控制在80%~85%时,所得第一段产品接近一级品质量要求;第一段分解率控制在90%时,一段产品中 SiO_2 略高于二级品的产品标准。这是因为,随着碳分分解率的提高,铝酸钠溶液中的 $\text{Na}_2\text{O}_\text{K}$ 和

Al_2O_3 浓度不断降低,含水铝硅酸钠在溶液中的溶解度也逐渐降低,导致溶液中 SiO_2 过饱和程度增大,当分解率增加到一定程度后 SiO_2 会大量析出;分解后期由于 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 析出缓慢,溶液中的氧化铝主要以丝钠铝石($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)的形式析出,导致氢氧化铝产品 Na_2O 含量升高^[22]。因此,第一段分解率控制在85%左右较为适宜。

表6 一段分解率对氢氧化铝产品质量影响

Table 6 Effects of first stage precipitation ratio on quality of aluminum hydrate products

分解阶段	一段分解率/%	SiO_2 /%	Fe_2O_3 /%	$\text{Na}_2\text{O}/\%$	灼减/%	白度	$-45\ \mu\text{m}$ 占比/%
第一段	75	0.018	0.005	0.329	34.60	87.86	14.13
第二段		0.831	0.041	13.570	38.98	85.25	98.35
第一段	80	0.028	0.005	0.316	34.82	82.66	14.37
第二段		0.706	0.006	11.800	36.38	90.48	99.91
第一段	85	0.025	0.004	0.323	34.26	—	14.18
第二段		0.550	0.030	11.370	37.65	—	98.12
第一段	90	0.044	0.008	0.408	34.52	85.12	16.95
第二段		0.668	0.026	10.370	37.26	87.23	99.44

2.2.4 NaHCO_3 溶液浓度对氢氧化铝产品质量的影响

固定试验条件:分解温度90℃,两段式分解,第一段分解时间10 h,第一段分解率85%,研究 NaHCO_3 溶液浓度对产品质量的影响,试验结果如表7所示。从表7可以看出, NaHCO_3 溶液浓度对氢氧化铝产品的质量影响不大, NaHCO_3 溶液质量浓度在80~150 g/L,在适宜分解条件下所得的第一

段产品均能达到二级品质量要求。但是,当 NaHCO_3 溶液质量浓度为80 g/L时,分解过程中加入的 NaHCO_3 溶液量较大,分解后的 Na_2CO_3 溶液浓度低,不利于后续膜电解工艺的进行;而 NaHCO_3 溶液质量浓度超过100 g/L时, NaHCO_3 溶液饱和度较高,易析出结晶,引起结疤,不利于分解反应的顺利进行。因此, NaHCO_3 质量浓度应控制在90~100 g/L。

表7 NaHCO_3 溶液浓度对氢氧化铝产品质量的影响

Table 7 Effects of sodium bicarbonate solution concentration on quality of aluminum hydrate products

NaHCO_3 浓度/(g·L ⁻¹)	分解阶段	SiO_2 /%	Fe_2O_3 /%	$\text{Na}_2\text{O}/\%$	灼减/%	白度	$-45\ \mu\text{m}$ 占比/%
80	第一段	0.028	0.005	0.365	34.56	81.34	15.25
	第二段	0.640	0.028	12.510	38.58	76.74	99.06
100	第一段	0.025	0.004	0.323	34.26	—	14.18
	第二段	0.550	0.030	11.370	37.65	—	98.12
120	第一段	0.032	0.006	0.396	34.38	84.62	14.94
	第二段	0.580	0.030	11.910	38.06	89.14	98.26
150	第一段	0.032	0.006	0.377	34.77	81.92	15.39
	第二段	0.650	0.034	12.380	38.12	89.64	98.13

2.2.5 分解时间对氢氧化铝产品质量的影响

分解温度90℃, NaHCO_3 溶液质量浓度100 g/L(缓慢持续加入),进行两段式分解,第一段分解率85%,研究分解时间对产品质量的影响,试验结果如表8所示。从表8数据可以看出,随着分解时间延长,氢氧化铝产品中 Na_2O 含量逐渐降低,粒度变

粗。一段分解时间为4 h时,产品中 SiO_2 含量较低,但是 Na_2O 含量较高,不能达到二级品产品要求,而且产品粒度细,而当一段分解时间达到8 h以上时,产品各项指标均可达到二级品的标准。综合考虑产品中杂质含量及粒度要求,一段分解时间控制在8~10 h为宜。

表8 分解时间对氢氧化铝产品质量的影响

Table 8 Effects of precipitation time on quality of aluminum hydrate products

一段分解时间/h	分解阶段	SiO ₂ /%	Fe ₂ O ₃ /%	Na ₂ O/%	灼减/%	白度	-45 μm 占比/%
4	第一段	0.027	0.005	0.532	34.87	80.32	19.56
	第二段	0.660	0.029	16.880	37.16	92.28	99.23
8	第一段	0.026	0.005	0.422	33.97	84.30	17.27
	第二段	0.550	0.028	11.830	34.60	92.42	98.01
10	第一段	0.025	0.004	0.323	34.26	—	14.18
	第二段	0.550	0.030	11.370	37.65	—	98.12
12	第一段	0.032	0.004	0.336	34.76	87.89	12.53
	第二段	0.520	0.026	9.510	38.23	—	92.04

2.3 氢氧化铝焙烧

焙烧是将氢氧化铝在一定温度下脱去附着水和结晶水,并发生晶型转变,制取氧化铝的工艺过程。产品氧化铝的许多物理性质,如比表面积、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 含量、粒度、强度等都受焙烧条件,尤其是焙烧温度的影响。冶金级氧化铝是在1 200~1 250 ℃下焙烧制得的,通常含有25%~60%的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和40%~60%的 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 。

将第一段分解得到的氢氧化铝分别在1 200、1 250 ℃下焙烧2 h,第二段分解得到的氢氧化铝在500 ℃下焙烧3 h,试验结果如表9所示。从表9可

以看出,一段氢氧化铝分别在1 200、1 250 ℃下焙烧2 h,所得氧化铝产品质量区别不大,均能达到二级品要求。考虑节能等因素,焙烧温度控制在1 200~1 250 ℃为宜。

由于二段分解已进入分解末期,氢氧化铝产品中杂质含量高,粒度偏细,物相分析结果表明,二段氢氧化铝主要物相是 $\text{NaAl}(\text{OH})_2\text{CO}_3$ (丝钠铝石)和 $\text{Al}(\text{OH})_3$,其在500 ℃焙烧3 h得到的氧化铝产品45 μm以下细颗粒达到100%,灼减含量较高,主要物相是一水软铝石和 Na_2CO_3 。

表9 焙烧条件对氧化铝产品质量的影响

Table 9 Effects of roasting conditions on quality of alumina products

焙烧温度/℃	焙烧时间/h	产品名称	SiO ₂ /%	Fe ₂ O ₃ /%	Na ₂ O/%	灼减/%	白度	-45 μm 占比/%
1 200	2	一段氢氧化铝	0.025	0.004	0.323	34.26	—	14.18
		氧化铝	0.038	0.012	0.211	—	90.25	14.32
1 250	2	一段氢氧化铝	0.018	0.005	0.329	34.60	87.86	14.13
		氧化铝	0.036	0.018	0.236	—	93.78	13.89
500	3	二段氢氧化铝	0.061	0.013	8.199	—	94.8	99.58
		氧化铝	0.775	0.067	16.925	14.75	88.12	100.0

3 结论

1) 对溶出液进行脱硅处理时,中压脱硅十两次石灰脱硅、两次石灰脱硅均可使溶液硅量指数提高到900以上,综合考虑能耗与流程,选择两次石灰脱硅为宜。两次石灰脱硅适宜条件为:脱硅温度98 ℃、一次脱硅石灰添加量15 g/L、净化时间1 h,二次脱硅石灰添加量10 g/L,净化时间1 h。

2) 碳分适宜条件为:二段式分解,分解温度90 ℃,NaHCO₃溶液质量浓度控制在90~100 g/L,缓慢持续加入;分解时间不大于16 h(其中一段分解时间8~10 h);第一段分解率控制在85%左右。此条件下,一段分解氢氧化铝质量可达到一级品或接近一级品。

3) 适宜碳分条件下得到的一段氢氧化铝在

1 200~1 250 ℃下焙烧2 h,所得氧化铝产品均能达到二级品要求。

4) 碱溶—碳分法生产氧化铝可以将一段分解率控制在85%生产冶金级氧化铝,二段分解率控制在100%生产化学品氧化铝,避免了氢氧化铝在生产系统中的循环,能大幅提高设备产能和生产效率。

参考文献

- [1] 雷显权,潘晓林,莫晓东,等.富云母高岭石铝土矿拜耳法溶出性能研究[J].有色金属(冶炼部分),2021(2):60-66.
- LEI X Q, PAN X L, MO X D, et al. Digestion performance of mica-and-kaolinite-rich bauxite by Bayer process [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2021(2):60-66.
- [2] 杨再明,吕中阳,潘晓林,等.低钙石灰烧结法处理粉煤

- 灰高效提取氧化铝研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 2020(9):64-68,96.
- YANG Z M, LV Z Y, PAN X L, et al. Extraction of alumina from desiliconized fly ash by low-calcium lime sinter process [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2020(9):64-68,96.
- [3] 孙林贤. 我国氧化铝工业现状及发展策略[J]. 轻金属, 2015(1):1-5.
- SUN L X. Discussion on the current situation and development strategies of alumina industry in China[J]. Light Metals, 2015(1):1-5.
- [4] 黄灿. 高效溶剂分解铝酸钠溶液制备氢氧化铝的研究[D]. 武汉: 武汉工程大学, 2018.
- HUANG C. The method of solvating-out process to produce aluminum hydroxide [D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2018.
- [5] 谢振山, 李军旗, 陈朝铁, 等. 中低品位高硫铝土矿焙烧脱硅研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 2018(7):13-16.
- XIE Z S, LI J Q, CHEN C Y, et al. Research on flash roasting-alkali dissolving desilication of low grade high-sulfur bauxite [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2018(7):13-16.
- [6] 王红伟, 马科友. 铝冶金生产操作与控制[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2013.
- WANG H W, MA K Y. Production Operation and Control of Aluminum Metallurgy [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2013.
- [7] 高天明, 杨沁东, 代涛. 氧化铝不同生产工艺资源环境效率比较[J]. 中国矿业, 2018, 27(1):83-88.
- GAO T M, YANG Q D, DAI T. Comparison of resources and environmental efficiency of different alumina production process[J]. China Mining Magazine, 2018, 27(1):83-88.
- [8] 姚宁宁. 膜电解技术在碱溶碳分法氧化铝生产新工艺中的应用研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2010.
- YAO N N. Application of membrane electrolysis in a novel alumina process consist of kali-bleaching and NaHCO₃ decomposing [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2010.
- [9] 马科友, 李晓乐, 王红伟. 铝硅比对中低品位铝土矿拜耳法溶出技术经济指标的影响[J]. 有色金属(冶炼部分), 2016(6):47-49.
- MA K Y, LI X L, WANG H W. Effect of A/S on technical and economic index of Bayer digestion for lower-medium grade bauxite [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2016(6):47-49.
- [10] 赵峰, 余章龙, 钮因健, 等. 膜电解在碱溶碳分法氧化铝生产工艺中的应用[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2009, 36(4):65-70.
- ZHAO F, YU Z L, NIU Y J, et al. Application of membrane electrolysis in alumina production by alkali dissolution and carbonization-precipitation [J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2009, 36(4):65-70.
- [11] 仇倩, 张彦玲, 唐阳, 等. 碱溶碳分法氧化铝生产工艺中碳分母液的深度除铝方法[J]. 轻金属, 2013(9):8-11,41.
- QIU Q, ZHANG Y L, TANG Y, et al. Alkali dissolution-carbonation precipitation process for producing alumina: Removal of aluminum from the carbonization liquor [J]. Light Metals, 2013(9):8-11,41.
- [12] 王红伟, 马科友, 张学英, 等. 碱溶—碳分法生产氧化铝溶出效果研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 2021(9):45-47.
- WANG H W, MA K Y, ZHANG X Y, et al. Study on dissolution effects of alkali dissolution-carbonation precipitation process for producing alumina [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2021(9):45-47.
- [13] 王利涛. 拜耳法高浓度铝酸钠溶液深度脱硅工艺研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2013.
- WANG L T. Research on deep desilication process of Bayer sodium aluminate solution with high concentration [D]. Zhenzhou: Zhenzhou University, 2013.
- [14] 李旺兴. 氧化铝生产理论与工艺[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2013.
- LI W X. Theory and Techniques of Alumina Production [M]. Changsha: Central South University Press, 2013.
- [15] 毕诗文. 氧化铝生产工艺[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- BI S W. Alumina Production Technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [16] 李敏, 张明阳. 论氧化铝行业产品标准的适宜性[J]. 世界有色金属, 2001(5):31-33,43.
- LI M, ZHANG M Y. On the suitability of product standards in alumina industry [J]. World Nonferrous Metals, 2001(5):31-33,43.
- [17] 李涛, 金会心, 刘虹伶. 铝酸钠溶液碳分—超声酸洗制备高纯 Al₂O₃ [J]. 有色金属(冶炼部分), 2018(9):35-39.
- LI T, JIN H X, LIU H L. Preparation of high purity Al₂O₃ from sodium aluminate solution by carbon decomposition and pickling assisted with ultrasonic [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2018(9):35-39.

- 35-39.
- [18] 路坊海. 高浓度铝酸钠溶液连续碳酸化分解的工业实践[J]. 轻金属, 2011(3):10-15.
LU F H. The industrial practices of continuous carbonization precipitation for high alumina concentration in sodium aluminate solution[J]. Light Metals, 2001(5): 31-33,43.
- [19] 郭万里. 氧化铝制取工 [M]. 太原: 山西人民出版社, 2006.
GUO W L. Alumina Producers[M]. Taiyuan: Shanxi People's Publishing House, 2006.
- [20] 曹继利. 高浓度铝酸钠溶液二段碳酸化分解新工艺研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2003.
CAO J L. Study to new techniques of two stage- precipitation in high concentration aluminate sodium solution[D]. Shenyang: Northeastern University, 2003.
- [21] 王红伟, 马科友, 秦凤婷, 等. 拜耳法碳分制备粗粒氢氧化铝工艺研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 2011(3): 19-22.
WANG H W, MA K Y, QIN F T, et al. Research on Bayer carbonation precipitation and producing coarse aluminum hydroxides[J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2011(3): 19-22.
- [22] 刘占强. 彻底碳分氢氧化铝产品质量优化[J]. 轻金属, 2018(4):8-11,16.
LIU Z Q. Quality optimization of aluminum hydroxide by thorough carbonation decomposition [J]. Light Metals, 2018(4):8-11,16.