

氧化镁在铝酸钠溶液脱硅中的反应行为

刘桂华¹, 齐天贵¹, 田 吕^{1,2}, 周秋生¹, 彭志宏¹, 李小斌¹

(1. 中南大学 冶金与环境学院, 长沙 410083;

2. 贵阳铝镁设计研究院, 贵阳 550004)

摘 要: 通过分析含硅铝酸钠溶液脱硅过程二氧化硅浓度、脱硅渣成分和物相, 研究氧化镁在铝酸钠溶液中的反应行为。结果表明, 在 95~100 °C 的常压脱硅条件下, 氧化镁在铝酸钠溶液中易形成水合碳铝酸镁, 对溶液基本无脱硅效果, 氧化铝损失较多, 但氧化镁能显著促进石灰的脱硅作用, 且在石灰用量一定时随氧化镁添加量的增加, 溶液的脱硅率显著升高; 在 190 °C 的高压脱硅条件下, 氧化镁对铝酸钠溶液石灰脱硅作用的促进不明显, 但它可使脱硅渣的钠硅比(质量比)显著降低; 无论是单独采用石灰(CaO), 还是采用石灰和氧化镁混和物脱硅, 含硅铝酸钠溶液高温脱硅渣中均含有钠硅渣相, 这与热力学分析结果一致。

关键词: 氧化镁; 铝酸钠; 石灰; 脱硅; 钠硅渣

中图分类号: TF821

文献标志码: A

Reaction behavior of MgO in desilication process of sodium aluminate solution

LIU Gui-hua¹, QI Tian-gui¹, TIAN Lü^{1,2}, ZHOU Qiu-sheng¹, PENG Zhi-hong¹, LI Xiao-bin¹

(1. School of Metallurgy and Environment, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Guiyang Aluminum and Magnesium Design and Research Institute, Guiyang 550004, China)

Abstract: The reaction behavior of MgO in the desilication process of sodium aluminate solution was studied by analyzing SiO₂ concentration variation in solution and compositions and phases of the desilication slag. The results indicate that under desilication conditions of 95–100 °C and normal pressure, MgO can react with SiO₂-containing sodium aluminate solution to form the magnesium hydroaluminocarbonate and cause the loss of alumina. MgO has almost no desilication effect in the normal pressure desilication process, but it can promote the desilication rate of CaO significantly and the desilication rate increases with the increase of MgO amount when the dosage of CaO is constant. Under desilication conditions of 190 °C and high pressure, MgO has little effect on the desilication rate of CaO, but it can decrease the mass ratio of soda to silica of desilication slag. The sodium aluminosilicate hydrate is one of the main phases of the slags produced from high temperature desilication process with either MgO or mixture of MgO and CaO as desilication agent, which agrees with the result of thermodynamic calculation.

Key words: magnesium oxide; sodium aluminate; lime; desilication; sodium aluminosilicate hydrate

在氧化铝生产过程中, 氧化钙、氧化镁及镁盐是铝酸钠溶液净化中常用的添加剂^[1-2]。氧化镁对溶液中的有机物具有较好的吸附性能, 主要用于去除工业

铝酸钠溶液中的有机物, 以消除有机物对生产的影响, 并达到脱除溶液颜色的效果^[3-5]; 氧化钙及含钙化合物在铝酸钠溶液净化中则主要用于溶液脱硅, 以降低产

品中杂质的含量^[6-8]。元素镁和钙同属 IIA 主族, 化学性质相似, 以往的研究对单独采用氧化镁吸附有机物及其脱色效果进行了较充分的分析, 而对氧化镁在铝酸钠溶液中的脱硅作用鲜有报道。

关于氧化镁在铝酸钠溶液体系中的反应, DUNCAN 等^[9]和 KUZNETSOVA 等^[10]认为, 镁盐在铝土矿溶出过程中除了形成铝酸镁、氢氧化镁和水合碳酸铝酸镁外, 还可形成铝硅酸镁等含硅镁化合物; 尹中林^[11]和袁华俊等^[12]通过研究含镁矿物在铝土矿溶出矿浆预热过程的反应行为及矿浆预热带道结疤成分, 认为含镁矿物在矿浆预热的高温过程主要形成氢氧化镁和水合铝硅酸镁($\text{Mg}_{6-x}(\text{Al}_x\text{Si}_{4-x})\text{O}_{10} \cdot (\text{OH})_8$), 分析得到部分矿浆预热带道硅钛结疤中氧化镁含量达到 4%~11%(质量分数)。这些结果说明, 氧化镁在铝土矿溶出过程中可与硅矿物反应形成含硅化合物, 对含硅铝酸钠溶液具有脱硅效果。目前, 对于氧化镁在铝酸钠溶液净化脱硅过程中的反应行为尚缺乏系统研究。

在以工业铝酸钠溶液为原料生产高白或高纯等特种氢氧化铝时, 溶液的脱色和脱硅都十分必要^[13]。若氧化镁在铝酸钠溶液除有机物及脱色过程中兼有脱硅的效果, 则可减少脱硅添加剂石灰的消耗并拓宽镁盐在氧化铝生产过程的应用。因此, 结合我国氧化铝生产实际, 明确氧化镁在铝酸钠溶液脱硅过程中的反应行为是十分必要的。

1 实验

1.1 实验原料与设备

铝酸钠溶液由工业级氢氧化铝和氢氧化钠配制而成; 含硅铝酸钠溶液由工业铝土矿烧结熟料溶出获得的含硅高浓度铝酸钠粗液与实验室配制的铝酸钠溶液混和制得, 其中, 二氧化硅浓度通过调节粗液的混合比例来调节; 氧化镁为分析纯氢氧化镁(国药集团化学试剂有限公司生产), 在马弗炉中于 500 ℃下煅烧 0.5 h 制得; 氧化钙为分析纯氢氧化钙(国药集团化学试剂有限公司生产), 在马弗炉中于 850 ℃下煅烧 2 h 制得。

其他试剂均为分析纯。
主要设备: DY-8 型低压反应群釜装置(中南大学机械厂生产), 以甘油为加热介质, 控温精度为 $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$; 752PC SHB-III 型紫外-可见分光光度计(上海光谱仪器有限公司生产); Rigaku TTR-III 型 X 射线衍射分析仪(日本理学公司生产)。

1.2 实验步骤

移取 100 mL 含硅铝酸钠溶液至低压反应群釜的反应钢弹中, 然后称取一定量的氧化镁和氧化钙, 加入钢弹中, 再放入 2 个直径为 15 mm 和 4 个直径为 5 mm 的钢球以加强搅拌, 钢弹加盖拧紧密封后放入预先升至所需温度的低压反应群釜装置中, 反应一定时间后取出并打开钢弹。反应浆液真空抽滤, 滤饼用热水($\sim 90\text{ }^\circ\text{C}$)洗涤, 滤液及洗液移至容量瓶定容后分析溶液中各组分的浓度, 洗涤后滤渣在 $(100 \pm 5)\text{ }^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘干, 用于固相成分和物相分析。

1.3 分析方法

铝酸钠溶液中 SiO_2 浓度采用硅钼蓝分光光度法分析, 苛碱浓度(Na_2O_k)、碳酸钠浓度(Na_2O_c)和氧化铝浓度(Al_2O_3)采用容量法测定; 滤渣的物相组成由 Rigaku TTR-III 型 X 射线衍射仪测试。铝酸钠溶液的脱硅率(η_{SiO_2})根据脱硅前后溶液中 SiO_2 浓度计算。

2 结果与讨论

2.1 常压下氧化镁与含硅铝酸钠溶液的反应

氧化镁在铝土矿溶出的高温高压反应条件下能够与含硅矿物形成铝硅酸镁^[10], 而氧化镁作为脱色剂或石灰作为脱硅剂用于含硅铝酸钠溶液时, 其反应温度一般在铝酸钠溶液的沸点以下^[4,6]。本文作者首先研究氧化镁在用作铝酸钠溶液脱色剂的常规使用条件下对含硅铝酸钠溶液的脱硅能力。表 1 所列氧化镁添加量为 5 g/L、反应温度为 95 ℃、时间为 2 h 时, 含硅铝酸钠溶液脱硅前后硅量指数(A/S, 溶液中氧化铝与

表 1 95 ℃下 MgO 对含硅铝酸钠溶液脱硅的影响
Table 1 Effect of MgO on desilication of sodium aluminate solution at 95 ℃

Desilication experiment No.	Composition of solution before desilication				Composition of solution after desilication			
	$\rho(\text{Na}_2\text{O}_k)/$ ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Al}_2\text{O}_3)/$ ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{SiO}_2)/$ ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	A/S	$\rho(\text{Na}_2\text{O}_k)/$ ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Al}_2\text{O}_3)/$ ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{SiO}_2)/$ ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	A/S
1	170.15	194.68	1.46	133	170.15	190.42	1.45	131
2	165.81	173.11	0.34	509	165.89	171.71	0.35	490

二氧化硅的质量比)的变化。

从表 1 可看出, 含硅铝酸钠溶液加入氧化镁反应前后溶液中 SiO_2 浓度未发生明显变化, 而 Al_2O_3 浓度略有降低, 氧化铝的损失率介于 0.81%~2.19%之间, 脱硅后溶液硅量指数因氧化铝的损失而略有降低。对表 1 中 1 号脱硅实验产生的脱硅渣进行化学成分分析, 结果显示渣中 SiO_2 含量仅 0.186%(质量分数)。这表明, 在本实验条件下, 氧化镁对含硅铝酸钠溶液基本没有脱硅能力。

为明确氧化镁与含硅铝酸钠溶液在常压条件下反应产物的形态, 对添加氧化镁的脱硅渣进行物相分析, 结果如图 1 所示。

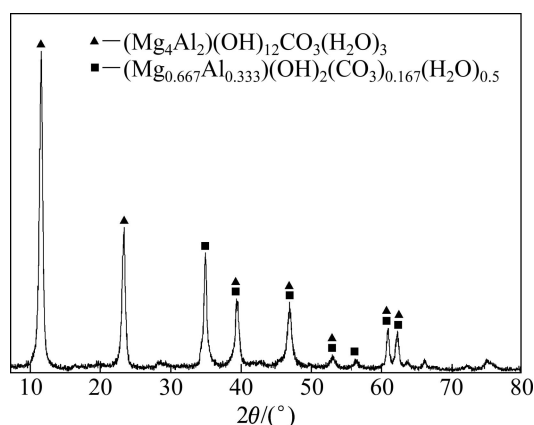


图 1 铝酸钠溶液添加氧化镁脱硅渣的 XRD 谱

Fig. 1 XRD pattern of desilication slag with MgO addition (Desilication condition: solution composition before desilication Na_2O_k 165.81 g/L, Al_2O_3 173.11 g/L, SiO_2 0.33 g/L, Na_2O_c 10.61 g/L, MgO addition 5 g/L, temperature 95 °C, time 2 h)

从图 1 中可以看出, 含硅铝酸钠溶液添加氧化镁脱硅产物主要物相是水合碳酸铝镁, 没有出现类似于水合铝硅酸钙组成的含硅铝镁盐的特征峰, 这与添加氧化镁脱硅后溶液中 SiO_2 浓度无明显变化的结果相符, 水合碳酸铝镁的形成使溶液中部分氧化铝进入渣相而造成氧化铝的损失。

在氧化铝生产过程中, 铝酸钠溶液中 SiO_2 浓度对其脱硅反应动力学及脱硅产物都有明显影响。为了明确铝酸钠溶液中 SiO_2 浓度对添加氧化镁脱硅过程的影响, 研究氧化镁在不同 SiO_2 含量的铝酸钠溶液中的脱硅反应规律, 实验结果如表 2 所列。

表 2 结果表明, 当铝酸钠溶液中 SiO_2 浓度在 0.69~2.42 g/L 变化时, 添加氧化镁脱硅前后溶液中 SiO_2 浓度都无明显变化, 说明在常压条件下, 即使在 SiO_2 浓度较高的铝酸钠溶液中氧化镁也没有明显的脱硅效果。

表 2 100 °C 下 SiO_2 浓度对添加 MgO 脱硅的影响

Table 2 Effect of SiO_2 concentration on desilication with addition of MgO at 100 °C

Solution type	$\rho(\text{SiO}_2)/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$			
Before desilication	0.69	1.28	1.84	2.42
After desilication	0.73	1.25	1.92	2.38

Desilication condition: composition of sodium aluminate solution before desilication Na_2O_k 163.36 g/L, Al_2O_3 183.10 g/L, MgO addition 5 g/L, time 120 min

2.2 常压下氧化镁对铝酸钠溶液添加石灰(CaO)脱硅的影响

在氧化铝生产过程中, 含钙化合物常常是铝酸钠溶液的脱硅剂, 针对铝酸钠溶液(特别是烧结法粗液)采用单独添加含钙化合物脱硅的研究较多^[2, 6]。在铝酸钠溶液添加石灰脱硅过程中, 为明确氧化镁对其反应过程的影响, 研究氧化镁存在条件下铝酸钠溶液石灰脱硅时的反应规律。不同石灰和氧化镁添加量条件下, 脱硅率与脱硅反应时间的关系如图 2 所示。其中, 实验所用铝酸钠脱硅原液各组分浓度为 Na_2O_k 159.71 g/L、 Al_2O_3 175.08 g/L、 SiO_2 0.88 g/L, 脱硅反应温度为 100 °C。

图 2 结果表明, SiO_2 浓度为 0.88 g/L 的铝酸钠溶液中加入 5 g/L 石灰脱硅, 即 CaO 与 SiO_2 的摩尔比 $n(\text{CaO}):n(\text{SiO}_2)$ 为 6.1:1 时, 溶液脱硅率较低, 而在石灰加入量相同并同时添加氧化镁 5 g/L 时, 脱硅率显著提高。当溶液脱硅过程石灰加入量增加至 10 g/L ($n(\text{CaO}):n(\text{SiO}_2)=12.2:1$)时, 补加的氧化镁在脱硅初期对铝酸钠溶液脱硅有促进作用, 而随着反应时间的延长, 氧化镁对脱硅的促进作用逐渐减弱直至消失。氧

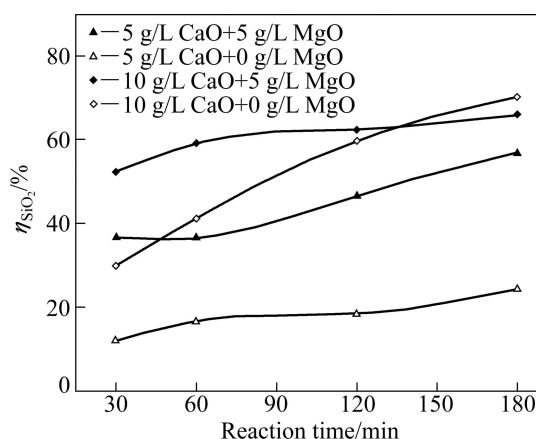


图 2 氧化镁对铝酸钠溶液添加石灰脱硅脱硅率(η_{SiO_2})的影响

Fig. 2 Effect of MgO on desilication rate (η_{SiO_2}) of sodium aluminate solution with CaO as desilication agent

化镁对含硅铝酸钠溶液添加石灰脱硅的促进作用可能与反应体系中形成的水合铝酸钙($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$)的结构变化有关。对铝酸钠溶液添加石灰脱硅的研究结果表明^[1, 14], 石灰进入铝酸钠溶液后首先形成水合铝酸钙, 然后溶液中的硅进入水合铝酸钙, 形成脱硅产物水合铝硅酸钙($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot x\text{SiO}_2\cdot (6-2x)\text{H}_2\text{O}$), 因此, 水合铝酸钙的结构和活性对脱硅过程具有重要影响。KUZNETSOVA 等^[10]对白云石高温焙烧后与铝酸钠溶液的反应进行的相关研究表明, 氧化镁及镁盐对水合铝酸钙的结构及其在铝土矿溶出过程的反应具有显著影响。

拜耳法溶出液中 SiO_2 浓度往往较高, 在较高 SiO_2 浓度的铝酸钠溶液中添加石灰脱硅过程中, 加入不同量的氧化镁对溶液脱硅过程的影响如图 3 所示。实验中含硅铝酸钠溶液组成为 Na_2O_k 165.01 g/L、 Al_2O_3 175.13 g/L、 SiO_2 1.63 g/L, CaO 添加量 10 g/L($n(\text{CaO}):n(\text{SiO}_2)=6.6:1$), 脱硅温度 100 $^\circ\text{C}$, 脱硅时间 120 min。

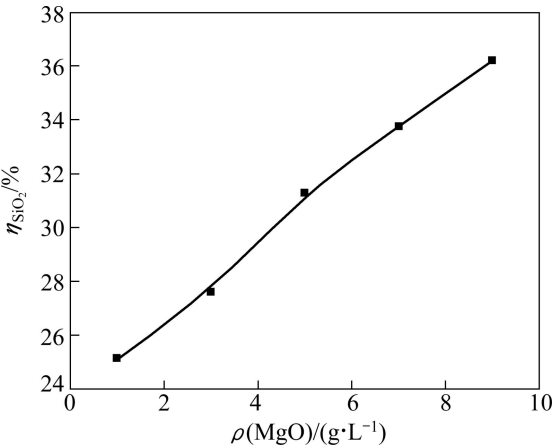


图 3 氧化镁加入量对铝酸钠溶液添加石灰脱硅脱硅率的影响

Fig. 3 Effect of MgO addition on desilication rate of aluminate solution with CaO as desilication agent

表 3 190 $^\circ\text{C}$ 下氧化镁对铝酸钠溶液脱硅的影响

Table 3 Effect of MgO on desilication of aluminate solution at 190 $^\circ\text{C}$

Experiment No.	Desilication additive/ ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)		Composition of solution after desilication/($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)				Mass fraction of desilication slag/%						
	CaO	MgO	Na_2O_k	Al_2O_3	SiO_2	(A/S) ₁	Al_2O_3	SiO_2	Na_2O	CaO	MgO	N/S	(A/S) ₂
1	5	0	147.63	162.02	0.74	219	27.31	16.73	8.08	21.63	0.32	0.48	1.63
2	5	5	146.44	161.67	0.71	227	24.76	14.59	5.61	23.33	4.85	0.38	1.70
3	0	5	145.25	163.41	0.74	221	27.81	19.36	9.85	0.27	9.34	0.51	1.44
4	10	0	147.63	159.93	0.66	242	24.41	13.80	4.30	31.09	0.42	0.31	1.77
5	10	5	147.63	159.24	0.63	253	25.93	13.60	3.38	30.07	2.81	0.25	1.91

Composition of solution before desilication: Na_2O_k 147.82 g/L, Al_2O_3 165.76 g/L, SiO_2 5.34 g/L; desilication time: 60 min; (A/S)₁: Mass ratio of Al_2O_3 to SiO_2 in solution after desilication; (A/S)₂: Mass ratio of Al_2O_3 to SiO_2 in desilication slag.

从图 3 可以看出, 在石灰添加量相同的条件下, 随着氧化镁补加量的增加, 含硅溶液的脱硅率增大。这说明在含硅铝酸钠溶液石灰脱硅过程中, 添加氧化镁能提高石灰的脱硅效果, 且这种促进作用随氧化镁加入量的增加而增大。

2.3 高温条件下氧化镁对铝酸钠溶液添加石灰脱硅的影响

已有研究表明, 氧化镁在铝土矿高温溶出过程中可与含硅矿物反应形成水合铝硅酸镁, 结合我国一水硬铝石型铝土矿溶出矿浆预热管道结疤中镁含量较高的事实^[10-12], 考察高温条件下氧化镁对铝酸钠溶液脱硅的影响规律, 结果如表 3 所列。

由表 3 中溶液脱硅前后的 SiO_2 浓度可以看出, 在高温条件下, 无论是溶液中单独加入石灰或氧化镁, 还是加入石灰和氧化镁混合物, 均可达到脱硅的目的。而含硅铝酸钠溶液加入石灰脱硅时, 补加氧化镁对脱硅后溶液中 SiO_2 浓度影响较小, 说明该条件下补加的氧化镁对脱硅没有表现出明显的促进作用。根据脱硅渣中 Na_2O 的含量, 在 190 $^\circ\text{C}$ 脱硅温度下, 脱硅渣中 Na_2O 含量都较高, 渣中钠硅比 N/S(Na_2O 与 SiO_2 的质量比)均大于 0.25, 说明脱硅渣中还含有一定量的钠硅渣(水合铝硅酸钠); 计算并比较表 3 中不同实验条件下脱硅渣的 N/S 可以看出, 在添加石灰脱硅过程中补加氧化镁时, 脱硅渣中 N/S 显著降低(如由 1 号脱硅渣的 0.48 降至 2 号脱硅渣的 0.38), 这说明氧化镁的加入有助于降低脱硅渣中的 N/S, 从而降低碱耗; 当含硅铝酸钠溶液中仅添加氧化镁(3 号实验)时, 脱硅后溶液中 SiO_2 浓度也较低, 脱硅渣中 Na_2O 含量高, 渣中 N/S 达到 0.51, 这可能是含硅铝酸钠溶液在高温下易形成钠硅渣造成的, 此时脱硅渣的铝硅比 A/S 为 1.44, 大于钠硅渣的 A/S(理论上为 1), 说明氧化镁在该过程形成了一定量的含铝镁盐或 A/S 较高的含硅铝的镁盐。

为明确高温条件下氧化镁在铝酸钠溶液中形成的物相, 对含硅铝酸钠溶液单独添加氧化镁以及添加氧化钙和氧化镁混合物脱硅后的脱硅渣进行物相分析, 结果如图 4 所示。

从图 4 中可以看出, 单独添加 MgO 脱硅渣的主要物相是钠硅渣($\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)和水合铝酸镁($\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{18} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), 也有少量的水合铝硅酸镁($(\text{Mg}_2\text{Al})(\text{SiAlO}_3)(\text{OH})_4$)。添加氧化钙和氧化镁混合物脱硅渣的主要物相除水合铝硅酸钙($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0.2\text{SiO}_2 \cdot 5.6\text{H}_2\text{O}$)和钠硅渣外, 还有水合铝酸镁和水合铝硅酸镁。这些物相分析结果与表 3 中各条件下脱硅渣中 N/S 和 A/S 的变化规律相吻合。氧化镁在高温含硅铝酸钠溶液中形成少量水合铝硅酸镁, 这与含镁矿物在铝土矿高压溶出过程能够与含硅矿物性能铝硅酸镁盐的结果一致。

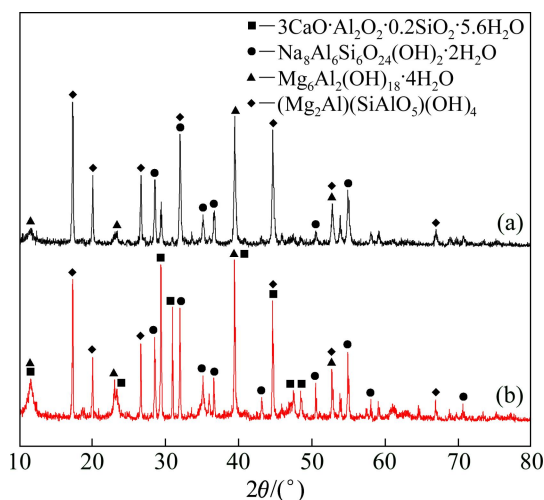


图 4 190 °C 下脱硅渣的 XRD 谱

Fig. 4 XRD patterns of desilication slag at 190 °C: (a) Adding MgO; (b) Adding mixture of MgO and CaO (Desilication condition: composition of solution before desilication Na_2O_k 159.71 g/L, Al_2O_3 175.08 g/L, SiO_2 0.88 g/L, Na_2O_c 19 g/L, desilication time 60 min)

图 4 和表 3 中的结果都表明, 在高温脱硅条件(190 °C)下, 无论是添加氧化镁还是添加氧化钙, 其脱硅渣中都含有钠硅渣, 这说明在铝酸钠溶液添加氧化钙和氧化镁脱硅过程中, 脱硅渣中的水合铝硅酸钙和含镁铝硅酸盐与钠硅渣之间存在转化平衡。为了进一步了解温度对脱硅产物的影响规律, 基于铝酸钠溶液脱硅过程的主要化学反应和热力学原理^[15-16], 计算溶液中 1 mol 硅酸根离子形成不同脱硅产物时脱硅反应的标准吉布斯自由能随温度的变化, 其结果如图 5 所示。

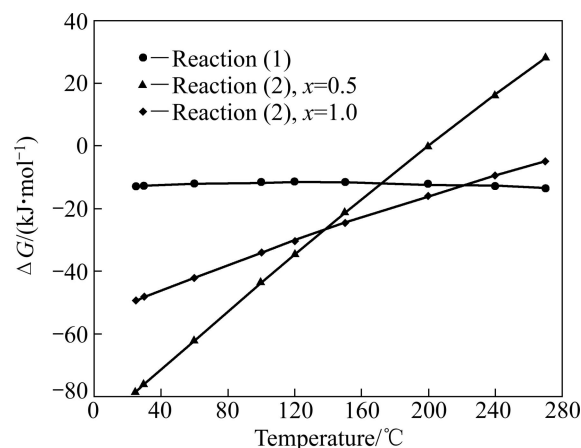
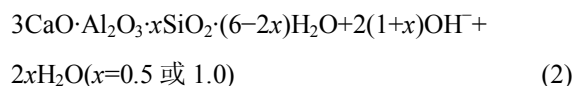
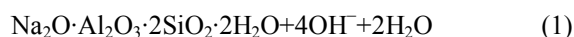
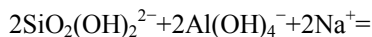


图 5 反应(1)和(2)的吉布斯自由能与温度的关系

Fig. 5 Relationship between Gibbs free energy of reactions (1) and (2) with temperature (Thermodynamic data of $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ from Ref. [17] and data of other compounds from Ref. [15])



从图 5 可以看出, 铝酸钠溶液中的含硅离子形成钠硅渣或二氧化硅饱和系数为 0.5 或 1.0 的水合铝硅酸钙的吉布斯自由能在温度低于 210 °C 时均为负值, 脱硅反应可正向进行。同时, 在较低温度条件下, 含硅离子与氢氧化钙反应形成水合铝硅酸钙的反应吉布斯自由能明显低于其与铝酸钠反应形成钠硅渣的吉布斯自由能, 即在低温条件下添加石灰脱硅, 其脱硅渣的平衡物相应是水合铝硅酸钙。随着脱硅温度的升高, 含硅离子形成钠硅渣的反应吉布斯自由能分别在温度高于 200 °C 和 240 °C 左右时低于其形成饱和系数为 0.5 和 1 的水合铝硅酸钙的反应吉布斯自由能, 即在高温条件下含硅铝酸钠溶液脱硅反应的平衡物相是钠硅渣。

由热力学计算可知, 在铝酸钠溶液脱硅过程中, 钠硅渣和水合铝硅酸钙之间存在平衡, 且温度升高将促进脱硅渣主要以钠硅渣形式存在。这也解释了低温(常压)反应条件下氧化镁的加入对铝酸钠溶液添加石灰脱硅的影响大而高温下影响小的原因, 即氧化镁对水合铝硅酸钙形成过程的影响大而对钠硅渣的形成过程影响小。

3 结论

1) 常压反应条件下,氧化镁在含硅铝酸钠溶液中主要形成水合碳铝酸镁,铝酸钠溶液单独添加氧化镁无明显的脱硅作用,并易造成氧化铝损失;而在铝酸钠溶液添加石灰脱硅过程中添加氧化镁,可显著提高石灰的脱硅效果。

2) 高温(190℃)条件下,在石灰脱硅过程中添加氧化镁,其脱硅渣的主要物相是水合铝硅酸钙、钠硅渣、水合铝酸镁以及少量含硅铝镁盐,添加氧化镁对脱硅过程无明显促进作用,但可显著降低脱硅渣中的钠硅比,降低碱耗。

3) 热力学计算和实验结果都表明,含硅铝酸钠溶液高温下脱硅渣中的稳定物相为钠硅渣,水合铝硅酸钙和钠硅渣在一定条件下可相互转化。该结果可进一步解释氧化镁对铝酸钠溶液石灰脱硅的影响规律。

REFERENCES

- [1] 杨重愚. 氧化铝生产工艺学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993: 249-265.
YANG Zhong-yu. Technology of alumina production[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1993: 249-265.
- [2] WHITTINGTON B I. The chemistry of CaO and Ca(OH)₂ relating to the Bayer process[J]. Hydrometallurgy, 1996, 43(1/2/3): 13-35.
- [3] SOUCY G, LAROCQUE J E, FORTE G. Organic control technologies in Bayer process[C]//Light Metals. Pennsylvania: The Minerals, Metals and Materials Society, 2004: 109-114.
- [4] ZAYTSEV Y A, LIPIN V A. Removal of organic substances from Bayer process liquors by magnesium compounds[C]//Light Metals. Pennsylvania: The Minerals, Metals and Materials Society, 1998: 97-101.
- [5] WILLIAMS F S, PERROTTA A J. Adsorbent combinations for enhanced removal of sodium oxalate from Bayer process spent liquor: US5728180[P]. 1998-03-17.
- [6] 徐 双. 高浓度铝酸钠溶液脱硅工艺与理论研究[D]. 长沙: 中南大学, 2008: 58-68.
XU Shuang. Desiliconization theory and technics of high concentration sodium aluminate solution[D]. Changsha: Central South University, 2008: 58-68.
- [7] MA Jia-yu, ZHAI Kun-ming, LI Zhi-bao. Desilication of synthetic Bayer liquor with calcium sulfate dehydrate: Kinetics and modeling[J]. Hydrometallurgy, 2011, 107(1/2): 48-55.
- [8] XU B A, GILES D E, RITCHIE I M. Reaction of lime with aluminate-containing solutions[J]. Hydrometallurgy, 1997, 44(1/2): 231-244.
- [9] DUNCAN F N C, BRADT R C. Synthesis of magnesium aluminate spinels from bauxite and magnesia[J]. Journal of the American Ceramic Society, 2002, 85(12): 2995-3003.
- [10] KUZNETSOVA N V, KUVYRKINA A M, SUSS A G, DAMASKIN A A, TSVETKOVA M V, POPKOVA L A, SHMIGIDIN Y I, PANOVA A V. Effect of magnesium salts on the production of tcha and the feasibility of using the resulting compounds in the leaching of bauxites[J]. Metallurgist, 2008, 52(11/12): 616-624.
- [11] 尹中林. 一水硬铝石型铝土矿在预热及溶出过程中的反应行为研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2005: 23-40.
YIN Zhong-lin. Research on the behavior of diasporic bauxite in the Bayer preheating and digestion process[D]. Shenyang: Northeastern University, 2005: 23-40.
- [12] 袁华俊, 黄 芳, 赵 丑. 平果铝厂压煮溶出过程的结疤研究—结疤相组成及性质(I)[J]. 轻金属, 2001(7): 12-16.
YUAN Hua-jun, HUANG Fang, ZHAO Du. Study of scaling during autoclave digestion of Ping-guo aluminum plant—Phase composition and property (I)[J]. Light Metals, 2001(7): 12-16.
- [13] 孟春玲, 胡 剑, 张卫华. 高白填料氢氧化铝色度影响因素[J]. 轻金属, 2011(S1): 158-160.
MENG Chun-ling, HU Jian, ZHANG Wei-hua. Factors on the color of high whiteness alumina hydroxide[J]. Light Metals, 2011(S1): 158-160.
- [14] WHITTINGTON B I, CARDILE C M. The chemistry of tricalcium aluminate hexahydrate relating to the Bayer industry[J]. International Journal of Mineral Processing, 1996, 48(1/2): 21-38.
- [15] 杨显万. 高温水溶液热力学数据计算手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1983: 1-10.
YANG Xian-wan. Thermodynamics data of inorganic substances in high temperature solution[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1983: 1-10.
- [16] 傅崇说. 有色冶金原理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993: 39-44.
FU Chong-yue. Theory of nonferrous metallurgy[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1993: 39-44.
- [17] 刘桂华, 李小斌, 李永芳, 彭志宏. 复杂无机化合物组成与热力学数据间的线性关系及其初步应用[J]. 科学通报, 2000, 45(13): 1386-1392.
LIU Gui-hua, LI Xiao-bin, LI Yong-fang, PENG Zhi-hong. The linear relations between the composition of complex inorganic compounds and thermodynamic data and its application[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(13): 1386-1391.

(编辑 陈卫萍)