

氧化铝

YANGHUALU
SHENGCHAN JISHU WENDA

生产技术问答

王克勤 肖建忠 编著



化学工业出版社

氧化铝

生产技术问答

王克勤 肖建忠 编著



化学工业出版社

·北京·

本书以问答的方式介绍了氧化铝生产方面的理论和应用知识,紧密结合我国氧化铝生产企业的实际情况,同时根据我国铝土矿的特点,介绍了氧化铝的基础理论和生产方法,并侧重于解决生产过程中遇到的实际问题,包括铝土矿的溶出、生料烧结、脱硅、赤泥的分离、洗涤、铝酸钠溶液分解、氢氧化铝焙烧等过程。另外还介绍了一些国内外生产氧化铝新技术及发展情况。

本书适合于氧化铝生产企业的技术人员及管理人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

氧化铝生产技术问答/王克勤,肖建忠编著. —北京:
化学工业出版社, 2010.7
ISBN 978-7-122-08645-7

I. 氧… II. ①王… ②肖… III. 氧化铝-生产
工艺-问答 IV. TF821-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 094091 号

责任编辑: 丁尚林
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 冯国庆
装帧设计: 周 遥

出版发行: 化学工业出版社
(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京市兴顺印刷厂
850mm×1168mm 1/32 印张 5 字数 101 千字
2010 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 19.00 元

版权所有 违者必究

前 言

近年来，我国氧化铝工业获得了快速发展。2009 年达 2300 万吨，随着相关行业对氧化铝的需求逐年增加，我国形成了一个以山东、河南、山西、贵州、广西、重庆等地为主的氧化铝生产基地，氧化铝产量和品种不断增加。

我国铝土矿资源比较丰富，但特点是高铝高硅的、中低品位的一水硬铝石矿，我国氧化铝生产与国外相比能耗较高。经我国的科研技术工作者的不懈努力，不断开发出适合我国铝土矿资源特点的新成果、新技术，以降低我国氧化铝生产成本，参与国际市场竞争。根据我国铝土矿资源的特点和生产现状，我国氧化铝工业不断发展自己的新技术、新工艺。五十多年来，我国采用并发展了烧结法，首创了混联法，氧化铝总回收率和碱耗与国外同类工厂相比，达到了先进水平。并且用最经济的方法从循环母液中回收金属镓；成功地利用了氧化铝生产中的废渣——赤泥生产水泥，从而提高了氧化铝生产的综合效益。

本书以问答的方式介绍了氧化铝生产方面的理论和应用知识，紧密结合我国氧化铝生产企业的实际情况，同时根据我国铝土矿的特点，介绍了氧化铝的基础理论和生产方法，并侧重于解决生产过程中遇到的实际问题，包括铝土矿的溶出、生料烧结、脱硅、赤泥的分离、洗涤、铝酸钠溶液分解、氢氧化铝焙烧等过程。另外还介绍了一些国内外生产氧化铝新技术及发展情况。本书适合于氧化铝生产企业的技术人员、管理人员以

及高等学校有色冶金专业的教师和学生参考阅读。

编著本书的人员为太原理工大学材料科学与工程学院王克勤（第二、三、四、五、六章）、中铝山东分公司氧化铝厂肖建忠（第一、七、八、九、十、十一章）。书中部分插图由邓海霞负责绘制。

由于编者水平有限书中不妥之处在所难免，敬请读者给予批评指正。

编著者

2010年5月于太原理工大学

目 录

第一章	铝土矿及氧化铝生产原料	1
	1. 什么是铝土矿?	1
	2. 铝土矿的主要化学成分是什么?	1
	3. 什么叫铝土矿的铝硅比?	1
	4. 铝土矿按其矿物类型如何分类?	2
	5. 我国铝土矿的特点有哪些?	2
	6. 铝土矿中的主要杂质有哪些?	2
	7. 铝土矿资源分布及其特点是什么?	2
	8. 铝土矿的主要用途有哪些?	3
	9. 铝土矿的结构特点是什么?	4
	10. 铝土矿的物理特征是什么?	4
	11. 铝土矿结构形态有哪几种?	5
	12. 铝土矿的标准是什么?	6
	13. 氧化铝工业概况是怎样的?	6
	14. 除铝土矿外,可以用于生产氧化铝的其他原料主要 有哪些?	9
	15. 明矾石矿的主要成分及其分布?	9
	16. 霞石的主要成分及其分布?	10
	17. 高岭土、黏土的主要成分及其分布?	10
	18. 硫磷铝锶矿的主要成分及其分布?	10
	19. 丝钠铝石的主要成分及其分布?	11
第二章	铝酸钠溶液	13
	20. 铝酸钠溶液的主要化学成分是什么?	13
	21. 什么是铝酸钠溶液的硅量指数?	13

22. 什么是铝酸钠溶液的诱导期?	13
23. 什么是铝酸钠溶液的全碱、苛性碱?	14
24. 什么是铝酸钠溶液的苛性比?	14
25. 什么是铝酸钠溶液的稳定性?	15
26. 影响铝酸钠溶液稳定性的因素有哪些?	15
27. 什么叫铝酸钠溶液“诱导期”?	16
28. 铝酸钠溶液的密度特性是什么?	16
29. 铝酸钠溶液的黏度特性是什么?	16
30. 铝酸钠溶液的电导率特性是什么?	16
31. 铝酸钠溶液的饱和蒸气压力特性是什么?	17
32. 铝酸钠溶液的热容特性是什么?	17
33. 铝酸钠溶液的特性与溶液结构存在什么样的关系? ..	17
34. 铝酸钠溶液具有什么样的结构?	17
第三章 拜耳法的基本原理和基本工艺流程	19
35. 拜耳法的生产原理是什么?	19
36. 拜耳法生产流程的特点是什么?	19
37. 什么叫拜耳循环?	19
38. 什么叫循环碱量?	21
39. 什么是循环效率?	22
40. 拜耳法的基本流程是什么?	22
41. 什么是“美国拜耳法”和“欧洲拜耳法”?	22
42. 选矿拜耳法工艺技术有什么优势? 此工艺有什么新 技术?	23
第四章 铝土矿溶出过程的化学反应及溶出工艺	25
43. 高压溶出的目的是什么?	25
44. 溶出的简易工艺流程是什么?	25
45. 含硅矿物在溶出过程中行为是什么?	25
46. 生产中含硅矿物造成的危害有哪些?	26
47. 生产中含硅矿物在溶出过程中造成的 Na_2O 和 Al_2O_3	

损失是多少？	26
48. 含铁矿物在溶出过程中的行为是什么？	27
49. 含钛矿物在溶出过程中的行为是什么？	28
50. 含硫矿物在溶出过程中的行为是什么？	29
51. 碳酸盐在溶出过程中的行为是什么？	30
52. 氧化钙水合物在溶出过程中的行为是什么？	30
53. 有机物和某些微量杂质在溶出过程中的行为是 什么？	31
54. 如何清除铝酸钠溶液中的有机物？	32
55. 高压溶出过程添加石灰的主要作用是什么？	33
56. 铝土矿溶出过程的步骤主要有哪些？	33
57. 铝土矿溶出动力学过程如何表示？	34
58. 溶出温度对铝土矿溶出过程的影响是什么？	34
59. 搅拌强度溶出温度对铝土矿溶出过程的影响是什么？ ...	35
60. 循环母液浓度对铝土矿溶出过程的影响是什么？	36
61. 配料分子比对铝土矿溶出过程的影响是什么？	36
62. 矿石细磨程度对铝土矿溶出过程的影响是什么？	37
63. 添加石灰对铝土矿溶出过程的影响是什么？	37
64. 原矿浆的配料如何计算？	38
65. 高压溶出器的结构要求是什么？	39
66. 工业生产为什么采用高压溶出器组？	39
67. 高压溶出器分为几类？优缺点是什么？	40
68. 原矿浆为什么进行预脱硅？	41
69. 什么是“双流法”溶出技术？	42
70. “双流法”溶出技术的特点有哪些？	42
71. 什么叫“两段溶出”新技术？	43
72. 我国管道-停留罐溶出技术是如何形成的？	44
73. 管道-停留罐溶出技术的主要特点是什么？	44
74. 什么叫管道化溶出技术？	45

75. 什么是套管式管道化溶出技术?	45
76. 什么是自蒸发器式管道化溶出技术?	45
77. 管道化溶出有哪些特点?	47
78. 几种加热热源的优缺点是什么?	48
79. 管道化溶出时的结垢主要成分是什么?	49
80. 拜耳法过程结垢有哪些?	49
81. 结垢的危害主要有哪些?	50
82. 结垢如何清除?	50
第五章 赤泥的分离与洗涤	51
83. 溶出矿浆稀释的目的是什么?	51
84. 拜耳法赤泥沉降分离和洗涤的目的是什么?	52
85. 拜耳法赤泥沉降分离洗涤的简单工艺流程是什么? ...	52
86. 拜耳法赤泥沉降分离洗涤主要包括哪些步骤?	52
87. 拜耳法赤泥的主要成分是什么?	53
88. 赤泥沉降性能如何表示?	53
89. 浆液温度对赤泥沉降性能有什么影响?	54
90. 浆液液固比对赤泥沉降性能有什么影响?	54
91. 溶液浓度对赤泥沉降性能有什么影响?	54
92. 赤泥粒度对赤泥沉降性能有什么影响?	55
93. 铝土矿的矿物组成、化学成分和溶出条件对赤泥沉降性能有什么影响?	55
94. 赤泥沉降过程中为什么要添加絮凝剂?	55
95. 影响絮凝剂使用效果的因素有哪些?	56
96. 拜耳法赤泥沉降分离、洗涤设备主要有哪些?	56
97. 沉降槽有哪些类型? 各有什么特点?	57
第六章 铝酸钠溶液的晶种分解	59
98. 什么叫晶种分解?	59
99. 衡量氢氧化铝产品质量指标有哪些?	59
100. 种分分解率指标怎样计算?	61

101. 分解槽的单位产能指标怎样计算?	61
102. 晶种分解的简易工艺流程是什么?	62
103. 晶种分解的机理是什么?	62
104. 分解原液质量浓度和苛性比值对晶种分解有哪些 影响?	64
105. 温度制度对晶种分解有哪些影响?	64
106. 晶种数量如何表示?	65
107. 晶种质量如何表示?	65
108. 晶种的数量和质量对晶种分解有哪些影响?	66
109. 搅拌强度对晶种分解有哪些影响?	66
110. 分解时间和母液苛性比值对晶种分解有什么影响?	67
111. 溶液中的杂质对晶种分解有什么影响?	67
112. 什么是一段分解和两段分解?	68
113. 种分过程的铝酸钠溶液采用什么设备降温?	68
114. 空气搅拌分解槽的工作原理是什么?	69
115. 机械搅拌分解槽的优点是什么?	69
116. 怎样进行氢氧化铝产品的分离与洗涤?	70
第七章 氢氧化铝的焙烧	73
117. 氢氧化铝焙烧的目的是什么?	73
118. 氢氧化铝焙烧发生的主要反应是什么?	73
119. 氢氧化铝焙烧时有哪些性质变化?	74
120. 氢氧化铝对焙烧的影响是什么?	74
121. 焙烧温度对产品粒度有什么影响?	75
122. 矿化剂对氢氧化铝的焙烧有什么影响?	75
123. 氢氧化铝焙烧的主要设备包括哪些?	76
124. 回转窑煅烧系统焙烧工艺是怎样的?	76
125. 循环沸腾焙烧炉简易工艺流程是怎样的?	77
126. 循环焙烧炉有哪些特点?	79
127. 流化床煅烧系统有哪些特点?	80

第八章	烧结法生产氧化铝的原理和工艺流程	81
	128. 烧结法的原理是什么?	81
	129. 烧结法和其他氧化铝生产工艺流程生产指标的对比是 怎样的?	82
	130. 烧结法的基本工艺流程是什么?	82
	131. 熟料烧结的主要目的是什么?	84
第九章	熟料烧结过程工艺与设备	85
	132. 什么是干式烧结和湿式烧结?	85
	133. 湿式烧结有什么优点?	85
	134. 熟料烧结的主体设备是什么?	86
	135. 什么是熟料窑的饲料系统?	86
	136. 什么是熟料窑的收尘系统?	87
	137. 什么是熟料窑的燃料燃烧系统?	88
	138. 什么是熟料窑冷却机系统?	90
	139. 烧结窑共分几个段带?	91
	140. 烧结窑烘干带的作用是什么?	91
	141. 烧结窑预热分解带的作用是什么?	92
	142. 烧结窑烧结带的作用是什么?	92
	143. 烧结窑冷却带的作用是什么?	92
	144. 熟料烧结的主要技术条件是什么?	93
	145. 熟料的技术指标主要有哪些?	93
	146. 熟料烧结的影响因素主要有哪些?	94
	147. 影响熟料质量的因素主要有哪些?	95
	148. 生料成分及配比对熟料质量有什么影响?	95
	149. 烧结温度对熟料质量有什么影响?	96
	150. 燃料对熟料质量有什么影响?	97
	151. 烧结时间对熟料质量有什么影响?	97
	152. 降低熟料窑烧结热耗的途径主要有哪些?	97

153. 熟料窑设备参数与产能有什么样的关系?	98
154. 熟料烧结过程中出现跑黄料的原因是什么?	99
155. 熟料烧结过程中产生烧结圈的原因是什么?	100
156. 如何提高烧结窑产能和降低热耗?	101
第十章 熟料溶出、赤泥分离、脱硅过程	103
157. 熟料溶出的主要目的是什么?	103
158. 熟料溶出的原理是什么?	103
159. 熟料溶出的简易工艺流程是什么?	103
160. 铝酸钠在熟料溶出时的主要反应是什么?	104
161. 铁酸钠在熟料溶出时的主要反应是什么?	104
162. 什么是熟料溶出的二次反应?	105
163. 二次反应主要有哪些?	105
164. 影响二次反应的主要因素有哪些?	106
165. 怎样衡量熟料溶出的作业效果?	107
166. 熟料性质对溶出有什么影响?	108
167. 溶出温度对熟料溶出有什么影响?	109
168. 溶出时间对熟料溶出有什么影响?	109
169. 溶液中的碱浓度对熟料溶出有什么影响?	109
170. SiO_2 浓度对熟料溶出有什么影响?	110
171. 溶出液赤泥含量和粒度对熟料溶出有什么影响? ...	111
172. 溶出液固比对熟料溶出有什么影响?	111
173. 熟料粒度对熟料溶出有什么影响?	111
174. 熟料溶出主要有哪几种方法?	112
175. 什么是一段磨料溶出工艺?	112
176. 一段磨料有什么特点?	113
177. 什么是二段磨料溶出工艺?	113
178. 二段磨料溶出有什么特点?	114
179. 我国熟料溶出工艺和技术有什么特点?	114

180. 赤泥分离的主要目的是什么？	114
181. 生产中为什么要控制粗液中的浮游物含量？	115
182. 为什么要对赤泥进行快速分离？	115
183. 赤泥分离的主要技术指标有哪些？	115
184. Fe_2O_3 对赤泥沉降性能有什么影响？	116
185. 影响赤泥浆液沉降性能的因素主要有哪些？	116
186. 烧结法粗液脱硅的目的是什么？	117
187. 为什么要进行硅渣分离作业？	118
188. 粗液脱硅工艺流程是什么？	118
189. 铝酸钠溶液脱硅的基本原理是什么？	118
190. 影响一次脱硅效果的主要因素有哪些？	119
191. 铝酸钠溶液添加石灰脱硅的基本原理是什么？ ...	120
192. 硅渣的主要成分是什么？	121
193. 添加石灰脱硅的主要影响因素有哪些？	121
194. 添加种分母液对脱硅有什么影响？	123
第十一章 铝酸钠溶液的碳酸化分解	125
195. 铝酸钠溶液碳酸化分解的主要目的是什么？	125
196. 铝酸钠溶液碳酸化分解的基本原理是什么？	125
197. 碳酸化分解的工艺流程是什么？	126
198. 碳酸化分解过程中 SiO_2 的行为是什么？	127
199. 影响碳酸化分解过程的主要因素有哪些？	128
200. 碳酸化分解方法有哪几种？	129
201. 什么是分段碳酸化分解？	129
202. 什么是混合分解法？	130
203. 什么是间断碳酸化分解工艺？	130
204. 什么是连续碳酸化分解工艺？	131
205. 碳分产能如何计算？	131
206. 影响碳分过程的主要因素有哪些？	132

207. 如何提高碳分槽的产能和产品质量?	133
208. 碳酸化分解设备与工艺是什么?	134

参考文献	136
-------------------	-----

第一章

铝土矿及氧化铝生产原料

1. 什么是铝土矿？

铝土矿是一种以含有铝的水合物为主要矿物的岩石，铝土矿是目前氧化铝生产最主要的矿石资源，世界上 95% 以上的氧化铝是用铝土矿生产出来的。它是一种组成复杂、化学成分变化很大的矿石。根据含铝矿物存在的形态不同，铝土矿分为三水铝石型、一水软铝石型、一水硬铝石型以及各种混合型。

2. 铝土矿的主要化学成分是什么？

铝土矿是一种以氧化铝水合物为主要成分的复杂铝硅酸盐矿石，铝土矿的主要化学成分有： Al_2O_3 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 ，还有少量的 CaO 、 MgO 、硫化物，微量的镓、钒、磷、铬等元素的化合物。

3. 什么叫铝土矿的铝硅比？

铝土矿中的硅是碱法处理铝土矿制取氧化铝过程中最有害的杂质，铝土矿的铝硅比是衡量铝土矿质量的主要指标之一。铝硅比越高，铝土矿质量越好。

铝硅比是指铝土矿中的氧化铝和二氧化硅的质量分数比，即 $A/S = \text{矿石中的氧化铝质量分数} / \text{矿石中的二氧化硅质量分}$

数。通常写为： $A/S = w_{(Al_2O_3)} / w_{(SiO_2)}$

4. 铝土矿按其矿物类型如何分类？

铝土矿按其含有的氧化铝水合物的类型可分为三水铝石型铝土矿、一水软铝石型铝土矿、一水硬铝石型铝土矿和混合型铝土矿。

5. 我国铝土矿的特点有哪些？

我国铝土矿的特点是：资源丰富，储量大；高铝、高硅、高铁；铝硅比较低，中低品位铝土矿居多，多数铝土矿是一水硬铝石型铝土矿。

6. 铝土矿中的主要杂质有哪些？

含硅、铁、钛矿物是铝土矿中的主要杂质。含硅矿物有：高岭石、蛋白石、叶蜡石、伊利石、鲕绿泥石等硅酸盐矿物。含铁矿物有：赤铁矿、针铁矿、磁铁矿、菱铁矿、黄铁矿等。含钛矿物有：金红石矿、锐钛矿、板钛矿等。除了氧化硅、氧化铁及氧化钛等主要杂质外，铝土矿中还含有少量钙和镁的碳酸盐以及钠、钾、硫、铬、镓、钒、磷、氟、锌等一二十种其他一些元素的化合物、有机物等。

镓在铝土矿中含量虽少，只有 0.001%~0.01%，但在氧化铝生产的循环母液中逐渐富集，从而可以回收。当今世界上约有 85% 的金属镓是从氧化铝生产过程中回收的。实际上，氧化铝工业已成为生产镓的主要来源。

7. 铝土矿资源分布及其特点是什么？

铝在地壳中的平均含量为 8.8%，仅次于氧和硅而居于第

三位。由于铝的化学性质活泼，它在自然界中只以化合物状态存在。地壳中的含铝矿物约有 250 种，其中约 40% 是各种铝硅酸盐。铝土矿储量丰富的国家有几内亚、澳大利亚、巴西、牙买加、印度、苏里南、前苏联、中国、印度尼西亚及希腊等国。

国外铝土矿的一般特点是多数为三水铝石型，但欧洲以一水软铝石型居多，希腊为一水硬铝石—水软铝石型，前苏联则各种类型都有。从化学成分来看，国外多数铝土矿的硅含量较低，铝硅比较高，而铁含量一般也较高。

根据目前已探明的情况，国内铝土矿主要分布在河南、山西、广西、贵州及山东等省。我国铝土矿的一般特点是高铝、高硅、低铁，即氧化铝含量高，氧化硅含量高，但铝硅比较低，除广西平果少数矿区的铝硅比指标能达到 10 以上外，多数在 4~7 之间。从矿石类型来说，绝大多数为一水硬铝石—高岭石型，仅广东、福建、海南有少量三水铝石型铝土矿，但铝硅比都较低。

8. 铝土矿的主要用途有哪些？

铝土矿主要用于氧化铝生产，也用于人造刚玉、耐火材料、高铝水泥、硫酸铝等化工产品等生产部门，铝土矿按用途可划分为冶金级、材料级、磨料级和化工产品级四类。用于生产耐火材料和磨料的铝土矿都需经过高温煅烧，所以煅烧铝土矿包括这两种级别。不同用途的铝土矿有不同的质量要求。如煅烧铝土矿用于生产耐火材料时，其中 Al_2O_3 含量应 $>88\%$ ， $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 2.5\%$ ， $\text{TiO}_2 < 4.0\%$ ；用于生产磨料时，其 Al_2O_3 含量应 $>85\%$ ， Fe_2O_3 为 $5\% \sim 7\%$ ， SiO_2 为 $1\% \sim 5\%$ ，煅烧铝土矿中的碱金属和碱土金属含量应较低。因此对生产煅烧矿