

●冶金系统跨世纪学术技术带头人著作丛书

# 铝酸钠溶液种分解

谢雁丽 吕子剑 等编著

冶金工业出版社

冶金系统跨世纪学术技术带头人著作丛书

# 铝酸钠溶液晶种分解

谢雁丽 吕子剑 毕诗文  
赵 群 王锡慧 姜小凯 编著  
杨毅宏

北 京  
冶 金 工 业 出 版 社  
2003

## 内 容 提 要

本书是一部专门介绍影响氧化铝厂产品质量和产量的关键工序——铝酸钠溶液晶种分解的学术著作。全书共分8章,首先对国内外氧化铝工业现状进行了概述,指出我国氧化铝工业存在的问题,并探讨了我国氧化铝工业的发展方向。其次详细论述了铝酸钠溶液的结构,讨论了不同分解条件对附聚、晶体生长和二次成核的影响规律,研究了各分解条件对溶液分解率和产品粒度、强度的影响,并通过分析大量试验数据和SEM照片对其机理分别进行了论述。最后对附聚和生长动力学进行了详细研究,找出其控制步骤,提出了相应的强化措施;并就铝酸钠溶液强化分解的方法——活性晶种和添加剂的应用进行了有益探讨。

本书可供氧化铝领域的专业技术人员阅读。

## 图书在版编目(CIP)数据

铝酸钠溶液晶种分解/谢雁丽等编著. —北京:冶金工业出版社,2003.1

(冶金系统跨世纪学术技术带头人著作丛书)

ISBN 7-5024-3161-6

I. 铝… II. 谢… III. ①炼铝-湿法冶金-除杂质  
②铝酸盐-液体溶液-晶种-分解 IV. TF821.325

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 087941 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

责任编辑 谭学余 王雪涛 美术编辑 李 心 责任校对 卿文春 责任印制 李玉山  
北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2003年1月第1版,2003年1月第1次印刷

850mm×1168mm 1/32;5.875印张;150千字;169页;1-2000册

19.50元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

## 出版者的话

为了贯彻落实江泽民总书记提出的“要造就一批进入世界科技前沿的跨世纪的学术和技术带头人”的战略方针,推动冶金学科发展和冶金工业科技进步,我们组织策划了《冶金系统跨世纪学术技术带头人著作丛书》。这套丛书的组稿对象是冶金系统(黑色、有色)内年龄在 45 周岁以下、具有正高职称的省部级以上的学科和技术带头人。每位作者可以根据自己正在从事或已经从事过的科学研究或技术开发成果,独立或合作撰写一本专著。如果是理论著作,要求在基础研究和基础理论上较大的创新和突破;如果是工程技术著作,要求其技术处于国内或国际先进水平,或指导实践取得了重大经济效益。丛书总数暂不定,根据作者的实际情况、成书的条件和稿件的质量,计划到 2010 年,每年安排出版几种。

我们编辑出版这套丛书的目的,是希望优秀的跨世纪青年人才脱颖而出,激励他们经过不断的创新与总结,在科技领域确立自己的学术地位和技术地位,促进冶金科学技术的传播和向生产力的转化,推动冶金学术建设的繁荣和健康发展,为国家“百千万人才工程”培养、选拔和输送杰出人才。

欢迎优秀的跨世纪青年专家参加本丛书的著述。

# 前 言

铝酸钠溶液晶种分解是决定氧化铝生产的关键工序,然而,由于种分过程影响因素众多及其本身的复杂性,对种分机理缺乏深入透彻的研究,至今氧化铝工作者仍没有系统的理论指导教材。本书对作者近几年来在种分方面所做的部分工作进行总结,以期与其他研究人员共勉。

东北大学材料与冶金学院轻金属研究所(原有色金属冶金系轻金属冶金专业)氧化铝研究室,多年来一直从事铝酸钠溶液晶种搅拌分解研究,这一研究得到了中国铝业公司河南分公司的大力协作和支持,取得了一定的成果。

本书详细介绍了我们在铝酸钠溶液晶种分解机理和动力学方面所取得的研究成果,期望这些理论能对氧化铝的生产实践具有指导意义,也期望与其他氧化铝工作者共勉。

本书由东北大学谢雁丽、毕诗文、赵群、杨毅宏和中国铝业公司河南分公司吕子剑、王锡慧、姜小凯共同编著,并由谢雁丽审阅定稿。此外,书中试验数据的取得还要感谢东北大学薛红博士、李尚明硕士、佟立彬硕士、任文才硕士、李惠莉老师和刘爱华老师的大力支持与帮助。

由于编者水平有限,书中错误和缺点在所难免,敬请读者朋友们给予批评指正。

作 者

2002 年 10 月于沈阳

## 本书主要符号所代表的物理意义：

(1)  $N_K$ : 有时也写成  $Na_2O_K$  或  $Na_2O_{苛}$ , 指的是铝酸钠溶液中苛性碱浓度(g/L), 包括与氧化铝反应生成铝酸钠的  $Na_2O$  和以  $NaOH$  形态存在的游离的  $Na_2O$ 。

(2)  $\alpha_K$ : 分子比, 也称苛性比(MR), 指的是铝酸钠溶液中  $Na_2O$  与  $Al_2O_3$  的摩尔数之比。当溶液中  $Na_2O$  与  $Al_2O_3$  浓度用质量%或 g/L 表示时, 其分子比计算公式为:

$$\alpha_K = 1.645 Al_2O_3 / Na_2O$$

(3)  $A/C$ : 指的是  $Al_2O_3$  与  $Na_2O$  的质量比, 其中  $Na_2O$  以  $Na_2CO_3$  来计算, 美国常采用该表示法。以上两种  $Na_2O$  与  $Al_2O_3$  比值的换算公式为:  $A/C = 0.9623 / \alpha_K$ 。

(4)  $T$ : 温度。

(5)  $t$  或  $\tau$ : 时间。

(6)  $\eta$ : 铝酸钠溶液的分解率(%), 即铝酸钠溶液中氧化铝分解析出的百分数。

(7)  $K_S$ : 种子比, 即添加的晶种中  $Al_2O_3$  含量与溶液中  $Al_2O_3$  含量的比值。

# 目 录

|                                                    |        |
|----------------------------------------------------|--------|
| 1 铝工业发展简史.....                                     | ( 1 )  |
| 1.1 铝工业概况.....                                     | ( 1 )  |
| 1.1.1 金属铝产量和需求量预测 .....                            | ( 1 )  |
| 1.1.2 氧化铝产量和需求量的变化 .....                           | ( 2 )  |
| 1.1.3 世界铝土矿 .....                                  | ( 3 )  |
| 1.2 氧化铝生产的基本方法.....                                | ( 6 )  |
| 1.2.1 碱法 .....                                     | ( 6 )  |
| 1.2.2 酸法 .....                                     | ( 9 )  |
| 1.2.3 酸碱联合法 .....                                  | ( 9 )  |
| 1.2.4 热法 .....                                     | ( 9 )  |
| 1.3 我国的氧化铝工业.....                                  | ( 9 )  |
| 1.3.1 我国氧化铝工业的发展 .....                             | ( 9 )  |
| 1.3.2 我国氧化铝生产所取得的主要技术成就 .....                      | ( 11 ) |
| 1.3.3 我国氧化铝工业存在的问题 .....                           | ( 11 ) |
| 1.3.4 我国氧化铝工业的发展方向 .....                           | ( 13 ) |
| 1.4 世界主要氧化铝生产企业简介.....                             | ( 19 ) |
| 1.4.1 美国铝业公司(Alcoa) .....                          | ( 19 ) |
| 1.4.2 加拿大铝业公司(Alcan) .....                         | ( 21 ) |
| 1.4.3 凯撒铝业公司(Kaiser Aluminum<br>Corporation) ..... | ( 22 ) |
| 1.4.4 沃斯利氧化铝厂(Worsley Alumina) .....               | ( 22 ) |
| 1.4.5 彼斯涅(Pechiney) .....                          | ( 23 ) |
| 参考文献 .....                                         | ( 23 ) |

---

|                                                                               |      |
|-------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2 铝酸钠溶液                                                                       | (24) |
| 2.1 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ 系          | (24) |
| 2.1.1 30℃下的 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ 系  | (24) |
| 2.1.2 其他温度下的 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ 系 | (26) |
| 2.1.3 铝酸钠溶液中 $\text{Na}_2\text{O}$ 与 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的比值              | (27) |
| 2.2 铝酸钠溶液的稳定性                                                                 | (27) |
| 2.2.1 铝酸钠溶液的稳定性                                                               | (27) |
| 2.2.2 影响铝酸钠溶液稳定性的主要因素                                                         | (27) |
| 2.3 铝酸钠溶液的结构                                                                  | (28) |
| 2.3.1 胶体说                                                                     | (29) |
| 2.3.2 络合离子说                                                                   | (29) |
| 2.3.3 水化离子说                                                                   | (33) |
| 2.3.4 缔合离子说                                                                   | (34) |
| 2.3.5 结论                                                                      | (34) |
| 参考文献                                                                          | (35) |
| 3 分解条件对附聚过程影响规律的研究                                                            | (36) |
| 3.1 晶体附聚                                                                      | (36) |
| 3.1.1 附聚的概念                                                                   | (36) |
| 3.1.2 影响附聚的因素                                                                 | (36) |
| 3.1.3 附聚效率的衡量                                                                 | (38) |
| 3.2 苛碱浓度对附聚过程的影响                                                              | (38) |
| 3.2.1 苛碱浓度对分解率的影响                                                             | (38) |
| 3.2.2 苛碱浓度对附聚产品粒度的影响                                                          | (39) |
| 3.3 分子比对附聚过程的影响                                                               | (41) |
| 3.3.1 分子比对附聚阶段溶液分解率的影响                                                        | (41) |
| 3.3.2 分子比对附聚产品粒度的影响                                                           | (43) |
| 3.4 种子比 $K_S$ 对附聚过程的影响                                                        | (45) |
| 3.4.1 种子比对附聚过程分解率的影响                                                          | (45) |

---

|                                             |             |
|---------------------------------------------|-------------|
| 3.4.2 种子比对附聚产品粒度的影响 .....                   | (45)        |
| 3.5 晶种粒度对附聚过程的影响.....                       | (49)        |
| 3.5.1 晶种粒度对附聚过程分解率的影响 .....                 | (49)        |
| 3.5.2 晶种粒度对附聚物粒度的影响 .....                   | (50)        |
| 3.6 温度对附聚过程的影响.....                         | (51)        |
| 3.6.1 温度对附聚过程分解率的影响 .....                   | (51)        |
| 3.6.2 温度对附聚产品粒度的影响 .....                    | (51)        |
| 3.7 小结.....                                 | (55)        |
| 参考文献 .....                                  | (57)        |
| <b>4 铝酸钠溶液晶种分解过程中的二次成核.....</b>             | <b>(58)</b> |
| 4.1 二次晶核.....                               | (58)        |
| 4.1.1 二次晶核形成机理 .....                        | (58)        |
| 4.1.2 成核率 .....                             | (60)        |
| 4.2 诱导期与二次成核.....                           | (61)        |
| 4.2.1 诱导期简介 .....                           | (61)        |
| 4.2.2 分解条件对诱导期的影响 .....                     | (63)        |
| 4.3 分解条件对二次成核的影响.....                       | (65)        |
| 4.3.1 温度对二次成核的影响 .....                      | (65)        |
| 4.3.2 粒径大于 $45\mu\text{m}$ 晶种对二次成核的影响 ..... | (68)        |
| 4.4 小结.....                                 | (69)        |
| 参考文献 .....                                  | (70)        |
| <b>5 分解工艺条件对晶体生长过程影响规律的研究.....</b>          | <b>(72)</b> |
| 5.1 分解温度对分解过程的影响.....                       | (72)        |
| 5.1.1 前言 .....                              | (72)        |
| 5.1.2 分解温度对分解过程中分解率的影响 .....                | (74)        |
| 5.1.3 分解温度对分解产品粒度的影响 .....                  | (75)        |
| 5.1.4 分解温度对分解产品强度的影响 .....                  | (80)        |
| 5.2 铝酸钠溶液中硫钠含量对分解过程的影响.....                 | (83)        |

---

|       |                                                 |       |
|-------|-------------------------------------------------|-------|
| 5.2.1 | 硫钠对分解过程分解率的影响 .....                             | (83)  |
| 5.2.2 | 硫钠含量对分解产品粒度的影响 .....                            | (86)  |
| 5.2.3 | 硫钠含量对产品强度的影响 .....                              | (90)  |
| 5.3   | 铝酸钠溶液中碳钠含量对分解过程的影响 .....                        | (90)  |
| 5.3.1 | $N_C$ 含量对分解过程分解率的影响 .....                       | (91)  |
| 5.3.2 | $N_C$ 含量对分解产品粒度的影响 .....                        | (91)  |
| 5.3.3 | 碳钠含量对产品强度的影响 .....                              | (92)  |
| 5.4   | 晶种粒度和种子比对分解过程的影响 .....                          | (92)  |
| 5.4.1 | 种子比对分解过程的影响 .....                               | (94)  |
| 5.4.2 | 晶种粒度对分解过程的影响 .....                              | (97)  |
| 5.5   | 小结 .....                                        | (105) |
|       | 参考文献 .....                                      | (106) |
| 6     | 附聚动力学及其机理研究 .....                               | (108) |
| 6.1   | 附聚动力学方程的确定 .....                                | (108) |
| 6.1.1 | 附聚动力学方程的推导 .....                                | (109) |
| 6.1.2 | 因次 $n$ 的确定 .....                                | (110) |
| 6.1.3 | 附聚动力学方程参数的求算方法 .....                            | (111) |
| 6.1.4 | 动力学参数的求算 .....                                  | (112) |
| 6.2   | 附聚过程粒度变化分析 .....                                | (115) |
| 6.2.1 | $T=75^{\circ}\text{C}$ 时附聚物粒度随时间的<br>变化规律 ..... | (116) |
| 6.2.2 | $T=55^{\circ}\text{C}$ 时附聚物粒度随时间的<br>变化规律 ..... | (118) |
| 6.3   | 附聚机理研究 .....                                    | (120) |
| 6.3.1 | $T=75^{\circ}\text{C}$ 时附聚物 SEM 照片分析 .....      | (120) |
| 6.3.2 | 运用动量平衡, 探讨附聚机理 .....                            | (125) |
| 6.3.3 | 附聚机理推测 .....                                    | (127) |
|       | 参考文献 .....                                      | (128) |

|                                                         |              |
|---------------------------------------------------------|--------------|
| <b>7 晶体生长动力学及其机理研究 .....</b>                            | <b>(130)</b> |
| 7.1 分解动力学方程的确定 .....                                    | (131)        |
| 7.1.1 分解动力学方程的推导 .....                                  | (131)        |
| 7.1.2 铝酸钠溶液分解动力学常数的确定 .....                             | (136)        |
| 7.1.3 铝酸钠溶液晶种分解宏观机理的推断 .....                            | (139)        |
| 7.1.4 铝酸钠溶液晶种分解过程<br>最佳温度的推导 .....                      | (140)        |
| 7.2 晶体生长微观机理探索 .....                                    | (141)        |
| 7.2.1 PBC 理论 .....                                      | (142)        |
| 7.2.2 高温、低过饱和度下 $\text{Al}(\text{OH})_3$<br>晶体的生长 ..... | (144)        |
| 7.2.3 低温、高过饱和度下 $\text{Al}(\text{OH})_3$<br>晶体的生长 ..... | (150)        |
| 参考文献 .....                                              | (155)        |
| <b>8 强化铝酸钠溶液的分解过程 .....</b>                             | <b>(158)</b> |
| 8.1 晶种的强化分解 .....                                       | (158)        |
| 8.1.1 采用物理方法强化分解 .....                                  | (158)        |
| 8.1.2 采用活性晶种强化分解 .....                                  | (158)        |
| 8.1.3 采用添加剂强化分解 .....                                   | (159)        |
| 8.2 活性晶种制备及其对种分过程的影响 .....                              | (161)        |
| 8.2.1 试验 .....                                          | (162)        |
| 8.2.2 结果与讨论 .....                                       | (162)        |
| 8.2.3 结论 .....                                          | (166)        |
| 8.3 采用添加剂强化分解 .....                                     | (166)        |
| 8.3.1 添加剂对 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 附聚的影响 .....         | (166)        |
| 8.3.2 添加剂对 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 长大的影响 .....         | (167)        |
| 8.3.3 结论 .....                                          | (169)        |
| 参考文献 .....                                              | (169)        |

# 1 铝工业发展简史

## 1.1 铝工业概况

铝从 19 世纪末才开始工业生产,在此以前,曾被认为是贵金属,地位甚至在黄金之上,其发展十分迅速。从 1890 年至 1900 年,全世界金属铝的总产量约为 2.8 万 t;而到 20 世纪中叶,铝的产量已居有色金属之首,仅次于钢铁。1990 年,世界原铝产量已达 1600 多万 t,约占世界有色金属产量的 40%。1999 年,铝产量为 2209.7 万 t。

20 世纪以来,全世界原铝产量迅速增长,铝的应用领域也日益广泛,目前,铝已广泛应用在日常生活以及现代工业的许多部门,如航天工业、交通运输业、建筑业等行业中。由于铝金属具有优越的性能和丰富的资源,它将成为 21 世纪的世纪金属或结构金属,在国民经济中占有重要位置。

随着铝产量的飞速剧增,作为电解铝原料的氧化铝工业也迅猛发展起来。

### 1.1.1 金属铝产量和需求量预测

表 1-1 给出了 20 世纪 90 年代世界铝产量和我国铝产量。90 年代原铝价格如表 1-2 所示。

表 1-1 世界铝产量和我国铝产量统计(万 t)

| 年 份     | 1995 | 1996 | 1997  | 1998  | 2005 预测 |
|---------|------|------|-------|-------|---------|
| 世界原铝产量  | 1974 | 2079 | 2179  | 2266  | 2568    |
| 我国原铝产量  | 171  | 190  | 217.8 | 241.8 | 300     |
| 全球原铝消费量 | 2030 | 2045 | 2164  | 2189  |         |
| 我国原铝消费量 | 191  | 204  | 218   | 240   |         |
| 我国进口铝锭  | 38.8 | 36.6 | 28.8  | 30.6  |         |

表 1-2 原 铝 价 格

| 年 份                     | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
|-------------------------|------|------|------|------|
| 世界原铝/美元·t <sup>-1</sup> | 1805 | 1504 | 1498 | 1357 |
| 我国原铝/万元·t <sup>-1</sup> | 1.74 | 1.56 | 1.48 | 1.36 |

分析以上两表可以发现,原铝年产量在逐年递增,而原铝价格却在下降。但 1999 年后,铝价开始回升,供求关系发生变化,供不应求。一是因为美国凯撒公司的格雷默西氧化铝厂于 1999 年 7 月 5 日发生爆炸,减少 100 万 t/a 的产能;二是印度两大氧化铝厂检修,减少 15 万 t/a 的产能。8 月份,全球氧化铝供应紧张,价格上涨。

截止到 2002 年 6 月国内已建成电解铝厂 122 家,年产量已达 400 万 t。

### 1.1.2 氧化铝产量和需求量的变化

氧化铝是电解铝的主要原料,各国氧化铝产量的 90% 左右用来生产金属铝,因此随着铝工业的发展,氧化铝工业也发展起来。

我国的氧化铝工业,是伴随着电解铝生产的发展而建立和发展起来的。我国铝工业建立以来,其内部各环节基本上是均衡发展的。直到 1983 年,氧化铝产能与电解铝产能,特别是产量上出现严重的不平衡,主要是由于地方及乡镇企业兴建小型铝电解厂而造成的。

根据资料统计,只有当  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}=2.3$  时,才能满足国内氧化铝的需要。国内铝工业情况统计如表 1-3 所示。

表 1-3 国内铝工业情况统计

| 年 份                               | 1983 | 1997 | 1999 |
|-----------------------------------|------|------|------|
| $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ | 2.16 | 1.43 | 1.46 |

由表 1-3 可见,我国  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的产量不能满足电解铝生产的需要,为补充缺口,我国从 1983 年开始进口氧化铝(见表 1-4),至 1999 年,累计进口氧化铝 1397.04 万 t,占同期我国氧化铝产量的

45.75%。

表 1-4 1996~2002 年国内  $\text{Al}_2\text{O}_3$  供求情况(万 t)

| 年 份   | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 产 量   | 230  | 292  | 325  | 384  | 432  | 474  | 520  |
| 进 口 量 | 115  | 109  | 157  | 163  | 188  | 335  | 320  |
| 供 应 量 | 345  | 401  | 482  | 547  | 600  | 809  | 840  |
| 小 计   | 392  | 446  | 500  | 564  | 607  | 722  | 842  |
| 其中:炼铝 | 355  | 407  | 460  | 524  | 565  | 680  | 800  |
| 非 冶 金 | 37   | 39   | 40   | 40   | 42   | 42   | 42   |
| 平 衡   | -47  | -45  | -18  | -17  | +13  | +87  | -2   |

由表 1-3、表 1-4 可见,我国氧化铝产量严重不足,每年需进口大量氧化铝,且在数年内,我国仍将是氧化铝进口国。因此,国家九五计划和 2010 年远景目标纲要中明确指出:重点发展氧化铝。

### 1.1.3 世界铝土矿

目前,世界上约 99% 的氧化铝是用铝土矿生产的,铝土矿是生产氧化铝最主要的原料。铝土矿中除含氧化铝外,还含有  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{CaO}$  等多种杂质。世界铝土矿矿石类型及化学成分如表 1-5 所示。

表 1-5 世界铝土矿矿石类型及化学成分

| 序号 | 国 家  | 化学成分/%                  |                |                         |                |           | 主要矿物<br>矿石类型   |
|----|------|-------------------------|----------------|-------------------------|----------------|-----------|----------------|
|    |      | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{SiO}_2$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{TiO}_2$ | LOI       |                |
| 1  | 澳大利亚 | 25~58                   | 0.5~38         | 5~37                    | 1~6            | 15~28     | 三水铝石,<br>一水软铝石 |
| 2  | 几内亚  | 40~60.2                 | 0.8~6          | 6.4~30                  | 1.4~3.8        | 20~32     | 三水铝石,<br>一水软铝石 |
| 3  | 巴西   | 32~60                   | 0.95~25.8      | 1.0~58.1                | 0.6~4.7        | 8.1~32    | 三水铝石           |
| 4  | 中国   | 50~70                   | 9~15           | 1~13                    | 2~3            | 13~15     | 一水硬铝石          |
| 5  | 越南   | 44.4~53.2               | 1.6~5.1        | 17.1~22.3               | 2.6~3.7        | 24.5~25.3 | 三水铝石,<br>一水硬铝石 |

续表 1-5

| 序号 | 国 家   | 化学成分/%                         |                  |                                |                  |           | 主要矿物<br>矿石类型    |
|----|-------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|-----------|-----------------|
|    |       | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | LOI       |                 |
| 6  | 牙买加   | 45~50                          | 0.5~2            | 16~25                          | 2.4~2.7          | 25~27     | 三水铝石,<br>一水软铝石  |
| 7  | 印度    | 40~80                          | 0.3~18           | 0.5~25                         | 1~11             | 20~30     | 三水铝石            |
| 8  | 圭亚那   | 50~60                          | 1~8              | 17~26                          | 2.5~3.5          | 13~27     | 三水铝石            |
| 9  | 希腊    | 35~65                          | 0.9~9.3          | 7~40                           | 1.2~3.1          | 19.3~27.3 | 一水硬铝石,<br>一水软铝石 |
| 10 | 苏里南   | 37.3~61.7                      | 1.6~3.5          | 2.8~19.7                       | 2.8~4.9          | 29~31.3   | 三水铝石,<br>一水软铝石  |
| 11 | 南斯拉夫  | 48~60                          | 1~8              | 17~26                          | 2.5~3.5          | 13~27     | 一水硬铝石,<br>一水软铝石 |
| 12 | 委内瑞拉  | 35.5~60                        | 0.9~9.3          | 7~40                           | 1.2~3.1          | 19.3~27.3 | 三水铝石            |
| 13 | 前苏联   | 36~65                          | 1~32             | 8~45                           | 1.4~3.2          | 10~14     | 软、硬铝石,<br>三水铝石  |
| 14 | 匈牙利   | 50~60                          | 1~8              | 15~20                          | 2~3              | 13~20     | 一水软铝石,<br>三水铝石  |
| 15 | 美国    | 31~57                          | 5~24             | 2~35                           | 1.6~6            | 16~28     | 三水铝石,<br>一水铝石   |
| 16 | 法国    | 50~55                          | 5~6              | 4~25                           | 2~3.6            | 12~16     | 一水硬铝石,<br>一水软铝石 |
| 17 | 印度尼西亚 | 38.1~59.7                      | 1.5~13.9         | 2.8~20                         | 0.1~2.6          |           | 三水铝石            |
| 18 | 加纳    | 41~62                          | 0.2~3.1          | 15~30                          |                  |           | 三水铝石            |
| 19 | 塞拉利昂  | 47~55                          | 2.5~30           |                                |                  |           | 三水铝石            |

目前全世界探明的铝土矿储量为 320 亿 t, 90% 以上为三水铝石型铝土矿; 我国探明的铝土矿储量约 23 亿 t, 在世界上位居第四, 资源充足, 具备发展氧化铝工业的资源条件。但 99% 为一水硬铝石型铝土矿, 这种铝土矿难磨、难溶, 需在高温 (260~280℃) 和高碱条件下强化溶出, 加之其含硅高、铝硅比低等特点, 决定了我国不能采用国外普遍采用的常规拜耳法生产氧化铝。

就世界铝土矿储量而言, 澳洲最大, 几内亚次之, 而美国的铝

土矿储量并不高。然而,各国的氧化铝产量并不一定与其铝土矿储量成正比,表 1-6、表 1-7 给出了世界上各地区铝土矿和氧化铝产量的概况。

表 1-6 各地区铝土矿和氧化铝产量对比表

| 地 区 | 1996 年   |        | 1997 年   |        | 1998 年   |         |
|-----|----------|--------|----------|--------|----------|---------|
|     | 铝 土 矿    | 氧 化 铝  | 铝 土 矿    | 氧 化 铝  | 铝 土 矿    | 氧 化 铝   |
| 欧洲  | 713.65   | 906.8  | 678.132  | 934.9  | 689.15   | 971.40  |
| 非洲  | 1901.01  | 62.2   | 1977.74  | 52.7   | 1744.86  | 50.00   |
| 亚洲  | 1958.74  | 258.4  | 1985.82  | 375.1  | 2008.13  | 389.90  |
| 北美  | 10.00    | 588.4  | 10.00    | 622.3  | 10.00    | 651.10  |
| 中南美 | 3386.64  | 933.4  | 3458.21  | 998.9  | 3559.02  | 1056.10 |
| 大洋洲 | 4306.30  | 1334.9 | 4446.50  | 1345.8 | 4455.30  | 1385.30 |
| 总计  | 12276.34 | 4084.1 | 12556.40 | 4329.7 | 12466.46 | 4504.30 |

表 1-7 2000 年主要  $\text{Al}_2\text{O}_3$  生产国产量统计(万 t)

| 项 目                        | 澳大利亚   | 美国    | 中国    | 巴西    | 牙买加   | 俄罗斯   | 印度    | 苏里南   | 委内瑞拉 |
|----------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ 产量 | 1571.5 | 437.2 | 432.7 | 378.3 | 358.1 | 285.5 | 193.8 | 181.2 | 179  |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ 厂数 | 6      | 6     | 6     | 5     | 4     | 6     | 6     | 1     | 1    |

分析表 1-6、表 1-7 可以发现,澳洲是世界上最大的铝土矿生产地区,同时也是世界最大的氧化铝生产地区,其铝土矿大部分用于自己的氧化铝生产;而非洲则是最大的铝土矿出口地区;北美洲每年的铝土矿产量仅为 10 万 t,但其氧化铝产量却高达 600 多万 t,是世界上最大的铝土矿进口区域。我国部分省(区)铝土矿特征及品位如表 1-8 所示。

表 1-8 我国主要省(区)铝土矿特征及品位一览表

| 序号 | 省(区) | 矿床<br>类型 | 矿区<br>个数 | 矿床规模 |    |    | 平均品位/%                  |                |                         |      |
|----|------|----------|----------|------|----|----|-------------------------|----------------|-------------------------|------|
|    |      |          |          | 大    | 中  | 小  | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{SiO}_2$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | A/S  |
| 1  | 山西省  | 沉积型      | 70       | 17   | 36 | 17 | 62.36                   | 11.57          | 5.78                    | 5.39 |

续表 1-8

| 序号  | 省(区)    | 矿床类型 | 矿区个数 | 矿床规模 |    |     | 平均品位/%                         |                  |                                |      |
|-----|---------|------|------|------|----|-----|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------|
|     |         |      |      | 大    | 中  | 小   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | A/S  |
| 2   | 贵州省     | 沉积型  | 62   | 3    | 19 | 40  | 65.43                          | 9.02             | 5.72                           | 7.25 |
|     |         | 堆积型  | 4    | 0    | 1  | 3   | 66.48                          | 8.20             | 6.94                           | 8.11 |
|     |         | 小计   | 66   | 3    | 20 | 43  | 65.45                          | 9.00             | 5.75                           | 7.27 |
| 3   | 河南省     | 沉积型  | 37   | 7    | 18 | 12  | 65.41                          | 11.80            | 3.41                           | 5.54 |
| 4   | 广西壮族自治区 | 沉积型  | 13   | 0    | 6  | 7   | 57.06                          | 9.45             | 12.33                          | 6.04 |
|     |         | 堆积型  | 7    | 6    | 0  | 1   | 54.31                          | 5.76             | 21.35                          | 9.43 |
|     |         | 小计   | 20   | 6    | 6  | 8   | 54.92                          | 6.58             | 19.35                          | 8.34 |
| 5   | 山东省     | 沉积型  | 23   | 0    | 2  | 21  | 55.54                          | 15.36            | 9.33                           | 3.62 |
| 6   | 四川省     | 沉积型  | 18   | 0    | 4  | 14  | 58.39                          | 12.66            | 8.95                           | 4.61 |
| 7   | 云南省     | 沉积型  | 17   | 0    | 1  | 16  | 58.36                          | 11.30            | 4.57                           | 5.16 |
|     |         | 堆积型  | 4    | 0    | 0  | 4   | 56.79                          | 8.01             | 16.54                          | 7.09 |
|     |         | 小计   | 21   | 0    | 1  | 20  | 57.52                          | 9.54             | 10.97                          | 6.03 |
| 合 计 |         | 沉积型  | 240  | 27   | 86 | 127 | 63.11                          | 11.10            | 5.71                           | 5.69 |
|     |         | 堆积型  | 15   | 6    | 1  | 8   | 54.83                          | 5.96             | 20.63                          | 9.20 |
|     |         | 小计   | 255  | 33   | 87 | 135 | 61.99                          | 10.40            | 7.73                           | 5.96 |

## 1.2 氧化铝生产的基本方法

氧化铝生产是一个化工过程。氧化铝厂就像一个大化工厂，目的就是將铝土矿提纯，把 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 50%~70% 的铝土矿提纯为 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量在 96% 以上。氧化铝的生产方法有碱法、酸法、酸碱联合法与热法等四种，但目前只有碱法成功应用于工业生产。

### 1.2.1 碱法

碱法即用碱(NaOH 或 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)处理铝矿石,使矿石中的氧化铝转变成铝酸钠溶液。矿石中的铁、钛等杂质和绝大部分的硅则成为不溶解的化合物。将不溶解的残渣(即赤泥)与溶液分离,经洗涤后弃去或进行综合处理,回收其中的有用组分。纯净的铝酸钠溶液即可解析出氢氧化铝,经分离、洗涤后进行煅烧,便获得氧化铝产品。分解母液循环使用可处理另一批矿石。碱法生产氧