

毕诗文 主编 于海燕 副主编

氧化铝生产工艺



Chemical Industry Press



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

氧化铝生产工艺

毕诗文 主 编
于海燕 副主编



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

氧化铝生产工艺/毕诗文主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 1

ISBN 7-5025-7811-0

I. 氧… II. 毕… III. 氧化铝-生产工艺 IV. TF821

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 127578 号

氧化铝生产工艺

毕诗文 主编

于海燕 副主编

责任编辑: 窦 臻

责任校对: 王素芹

封面设计: 潘 虹

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 21¼ 字数 523 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7811-0

定 价: 46.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

我国铝土矿资源特点是高铝高硅的中低品位的一水硬铝石矿，采用的生产方法是烧结法和联合法，联合法中的拜耳法（溶出温度高，苛性钠浓度大）也不同于国外处理三水铝石型铝土矿的拜耳法（溶出温度低，苛性钠浓度小），所以，我国氧化铝生产与国外相比能耗高，成本高。

为此，多年来我国从事该领域的科研人员对铝土矿的溶出过程、赤泥沉降性能和铝酸钠溶液的分解过程进行了大量的研究，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。

东北大学氧化铝研究室曾得到国家自然科学基金委员会、国家“十五”攻关项目、国家重点基础研究规划项目（973）和中国铝业公司的支持，取得了一些研究成果，同时，一直跟踪和关注国内外氧化铝生产技术发展动态。因此，本书不仅系统地介绍了烧结法和拜耳法生产氧化铝基本理论和工艺，还将我们多年来的研究成果和国内外生产氧化铝新技术及发展动态进行了归纳和总结，融为一体，内容丰富而翔实，具有实用价值。本书是根据工矿企业技术人员和大学本科生教学的需要而编著的，全书共二十章。

本书由东北大学氧化铝工艺与材料研究室毕诗文（第1、第2、第7、第10、第20章），于海燕（第3～第6章、第9章、第12章），杨毅宏（第8章、第13～第19章），翟秀静（第11章）编著。全书由毕诗文和于海燕分别任主编和副主编，负责统一校阅定稿。

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

2005年11月于东北大学

目 录

第1章 绪论	1
1.1 氧化铝工业的发展	1
1.2 我国氧化铝工业	2
1.2.1 我国氧化铝工业的发展	2
1.2.2 我国氧化铝生产所取得的主要技术成就	3
1.2.3 我国氧化铝工业存在的主要问题	5
1.3 氧化铝生产基本方法	7
1.3.1 电解炼铝对氧化铝的质量要求	7
1.3.2 氧化铝生产方法	8
第2章 铝土矿	11
2.1 铝土矿的化学组成及矿物组成	11
2.2 铝土矿矿石结构特点	13
2.3 世界铝土矿概况	13
2.4 我国铝土矿概况	15
第3章 铝酸钠溶液	17
3.1 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ 系	17
3.1.1 30°C 下的 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ 系	17
3.1.2 其他温度下的 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ 系	19
3.1.3 铝酸钠溶液中 Na_2O 与 Al_2O_3 比值	21
3.2 铝酸钠溶液的稳定性	22
3.3 铝酸钠溶液的物理化学性质	23
3.3.1 铝酸钠溶液的密度	23
3.3.2 铝酸钠溶液的电导率	23
3.3.3 铝酸钠溶液的饱和蒸汽压	24
3.3.4 铝酸钠溶液的黏度	25
3.3.5 铝酸钠溶液的热容及热焓	25
3.3.6 氧化铝水合物在碱溶液中的溶解热	26
3.4 铝酸钠溶液结构	27
3.4.1 胶体说	27
3.4.2 络合离子说	28
3.4.3 水化离子说	30
3.4.4 缔合离子说	30
第4章 拜耳法的原理和基本工艺流程	32
4.1 拜耳法的原理	32
4.2 拜耳法的基本流程	34

4.2.1 原矿浆制备	34
4.2.2 高压溶出	34
4.2.3 溶出矿浆的稀释及赤泥的分离洗涤	35
4.2.4 晶种分解	36
4.2.5 氢氧化铝的分离与洗涤	36
4.2.6 氢氧化铝煅烧	36
4.2.7 种分母液的蒸发及一水苏打的苛化	36
第5章 铝土矿中氧化铝的溶出	38
5.1 液-固多相反应	38
5.2 铝土矿的溶出性能及动力学	40
5.2.1 三水铝石型铝土矿	40
5.2.2 一水软铝石的溶出	42
5.2.3 一水硬铝石型铝土矿的溶出	43
5.3 氧化铝的溶出率、 Na_2O 损失率及赤泥产出率	47
5.3.1 氧化铝的溶出率	47
5.3.2 赤泥的产出率及碱耗	48
5.4 溶出过程的配料计算	49
5.5 影响铝土矿溶出过程的因素	51
5.5.1 溶出温度的影响	51
5.5.2 搅拌强度的影响	52
5.5.3 循环母液碱浓度的影响	53
5.5.4 配料分子比的影响	53
5.5.5 矿石细磨程度的影响	55
5.5.6 溶出时间的影响	56
5.6 铝土矿溶出过程的强化	56
5.6.1 铝土矿的预处理	56
5.6.2 溶出过程的添加剂	60
第6章 铝土矿中各种杂质在溶出中的行为	65
6.1 含硅矿物在溶出过程中的行为	65
6.1.1 硅矿物的溶出	65
6.1.2 铝酸钠溶液中硅矿物析出的平衡固相	70
6.2 含铁矿物在溶出过程中的行为	73
6.2.1 铁矿物在溶出过程中的行为	73
6.2.2 铝酸钠溶液中铁的存在形式	78
6.2.3 铁矿物对氧化铝溶出率的影响	79
6.3 含钛矿物在溶出过程中的行为	79
6.3.1 钛矿物与苛性碱溶液的反应	79
6.3.2 含钛矿物在溶出过程中的危害	80
6.3.3 消除 TiO_2 不良影响的措施	81
6.4 氧化钙和氧化镁在溶出过程中的行为	85

6.4.1	氧化钙与铝酸钠溶液的反应	85
6.4.2	溶出过程中添加 CaO 的作用	90
6.4.3	石灰的作用机理	92
6.4.4	石灰的质量	93
6.4.5	MgO 对一水硬铝石拜耳法溶出过程中的影响	95
6.5	含硫矿物在溶出过程中的行为	96
6.5.1	硫矿物与溶液的作用	96
6.5.2	含硫矿物在拜耳法生产中的危害	98
6.5.3	铝酸钠溶液的脱硫	101
6.5.4	铝酸钠溶液中硫化物对结晶水合铝硅酸钠成分和结构的影响	103
6.6	有机物在溶出过程中的行为	103
6.6.1	有机物与溶液作用	103
6.6.2	有机物的清除	107
第7章	铝土矿溶出过程工艺	109
7.1	溶出技术的发展过程	109
7.1.1	单罐压煮器加热溶出	109
7.1.2	多罐串联连续溶出压煮器组	110
7.1.3	管道化溶出	113
7.2	管道化溶出技术的优越性	116
7.2.1	热耗	116
7.2.2	投资	117
7.2.3	生产操作和维护	117
7.3	国外三种不同的管道加热溶出装置	118
7.3.1	德国联合铝业公司 (VAW) 的多管单流法溶出装置	118
7.3.2	匈牙利多管多流溶出装置	120
7.3.3	法国的单管预热-高压釜溶出装置	121
7.4	我国拜耳法溶出技术的进步	121
7.4.1	蒸汽直接加热的压煮器溶出	121
7.4.2	管道化溶出技术研究	122
7.5	高压水化学法	127
7.5.1	高压水化学法的原理	128
7.5.2	高压水化学法生产氧化铝的工艺流程	129
7.5.3	高压水化学法的改进和前景	133
第8章	溶出过程中结疤的生成与防治	135
8.1	结疤的形成及危害	135
8.2	结疤形成的物理化学	137
8.3	结疤的防治	142
8.4	结疤的清理	146
第9章	赤泥的分离和洗涤	147

9.1 概述	147
9.2 拜耳法赤泥浆液的特性	148
9.3 影响赤泥沉降分离的因素	149
9.3.1 矿物的形态	149
9.3.2 溶出浆液的稀释浓度	150
9.3.3 稀释浆液的温度	151
9.3.4 黏度的影响	151
9.3.5 底流液固比	152
9.3.6 絮凝剂的使用	152
9.4 赤泥沉降设备	157
9.4.1 沉降槽	157
9.4.2 过滤机	158
9.5 赤泥洗涤效率的计算	160
第10章 铝酸钠溶液晶种分解	162
10.1 概述	162
10.2 铝酸钠溶液分解机理	163
10.3 铝酸钠溶液分解过程中晶粒的附聚	165
10.3.1 附聚的概念	165
10.3.2 影响附聚的因素	165
10.3.3 附聚效率的衡量	166
10.3.4 附聚动力学方程	166
10.4 铝酸钠溶液晶种分解过程中的二次成核	171
10.4.1 二次晶核形成机理	171
10.4.2 成核率	172
10.4.3 诱导期与二次成核	173
10.5 影响铝酸钠溶液分解的主要因素	173
10.5.1 分解原液的浓度和分子比的影响	174
10.5.2 温度制度的影响	176
10.5.3 晶种数量和质量的影响	177
10.5.4 搅拌速度的影响	179
10.5.5 分解时间及母液分子比的影响	179
10.5.6 杂质的影响	180
10.6 添加剂对分解过程的影响	180
10.7 铝酸钠溶液分解工艺	182
10.7.1 铝酸钠溶液分解作业条件	182
10.7.2 铝酸钠溶液分解工序主要设备	182
10.8 关于砂状氧化铝生产工艺	184
10.8.1 国外砂状氧化铝生产发展概况	185
10.8.2 我国生产砂状氧化铝发展概况	186
第11章 氢氧化铝的煅烧	187

11.1 氢氧化铝煅烧过程的物理化学	187
11.1.1 氢氧化铝煅烧过程的相变	187
11.1.2 氢氧化铝煅烧过程中结构与性能的变化	188
11.2 氢氧化铝煅烧工艺技术	190
11.2.1 传统回转窑焙烧工艺	190
11.2.2 改进回转窑焙烧工艺	191
11.2.3 流态化焙烧工艺	194
第12章 分解母液的蒸发和一水碳酸钠的苛化	202
12.1 概述	202
12.2 蒸发器的类型	202
12.3 单级蒸发	203
12.4 多级蒸发	204
12.4.1 多级蒸发过程	204
12.4.2 多级蒸发装置的热工计算	204
12.5 蒸发器的结垢和阻垢	210
12.5.1 杂质在母液中的结垢行为	210
12.5.2 蒸发过程的阻垢措施	213
12.6 蒸发设备构造	214
12.7 蒸发工艺的应用	217
12.7.1 蒸发工艺过程	217
12.7.2 国内外蒸发技术和装置的应用	218
12.8 一水碳酸钠的苛化	219
12.8.1 一水碳酸钠苛化的原理	219
12.8.2 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{CO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ 系平衡状态图	221
12.8.3 一水碳酸钠苛化工艺	221
第13章 碱石灰烧结法生产氧化铝的原理和基本流程	222
13.1 烧结法的原理	222
13.2 烧结法的基本流程	223
第14章 铝酸盐炉料烧结过程的物理化学反应	225
14.1 概述	225
14.2 固相反应概念	226
14.3 烧结法熟料烧结的物理化学及相平衡	227
14.3.1 Na_2CO_3 与 Al_2O_3 之间的相互作用	227
14.3.2 Na_2CO_3 与 Fe_2O_3 之间相互作用	228
14.3.3 Na_2CO_3 与 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 间的相互作用	229
14.3.4 Na_2CO_3 与 SiO_2 间的相互作用	229
14.3.5 Na_2CO_3 与 Al_2O_3 和 SiO_2 间的相互作用	230
14.3.6 Na_2CO_3 与 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 SiO_2 间相互作用	230
14.3.7 CaO 与 SiO_2 间的相互作用	230

14.3.8	CaO 与 Al_2O_3 间的相互作用	231
14.3.9	CaO 与 Fe_2O_3 相互作用	232
14.3.10	Na_2CO_3 与 CaO 和 SiO_2 间的相互作用	232
14.3.11	CaO 与 Al_2O_3 及 Fe_2O_3 间的相互作用	232
14.3.12	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ 及 CaO 间的相互作用	232
14.3.13	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 及 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 之间的相互作用	233
14.3.14	熟料配方	234
14.4	烧成温度及烧成温度范围	235
14.5	熟料烧结	236
14.5.1	生料在烧结过程中的物理化学反应程序	236
14.5.2	关于生料加煤	237
14.5.3	关于石灰配料问题	239
14.5.4	熟料形成的热化学	239
第 15 章 铝酸盐炉料烧结过程工艺		241
15.1	回转窑中熟料煅烧过程和热工特性	241
15.1.1	煅烧过程	241
15.1.2	熟料窑的结圈问题	242
15.1.3	窑的热工特性	243
15.2	熟料窑的发热能力与窑的产能	245
15.3	熟料窑中物料的运动速度与窑的产能	246
15.4	熟料窑烧成制度	247
第 16 章 熟料溶出及赤泥分离		249
16.1	溶出过程的反应	249
16.2	熟料溶出时氧化硅的溶解	250
16.2.1	硅酸二钙分解的特性	250
16.2.2	溶出时熟料中 SiO_2 进入铝酸钠溶液的动力学	251
16.3	溶出副反应(二次反应)问题	252
16.4	溶出用溶液(调整液)中 Na_2CO_3 的作用	253
16.5	减少溶出副反应损失的措施及经验	254
16.6	熟料中二价硫含量与湿磨溶出的关系	255
16.7	烧结法赤泥沉降性能	256
第 17 章 铝酸钠溶液的脱硅过程		259
17.1	概述	259
17.2	铝酸钠溶液中含水铝硅酸钠的析出	259
17.2.1	SiO_2 在铝酸钠溶液中的行为	259
17.2.2	含水铝硅酸钠在碱溶液和铝酸钠溶液中的溶解度	261
17.2.3	影响含水铝硅酸钠析出过程的因素	263
17.3	铝酸钠溶液添加石灰的脱硅过程	266
17.3.1	添加石灰脱硅过程的机理	266

17.3.2	添加石灰脱硅过程的主要影响因素	266
17.3.3	从石灰脱硅渣中回收氧化铝	269
17.4	铝酸钠溶液脱硅过程的工艺	269
17.4.1	蒸汽直接加热一次脱硅与加石灰二次脱硅	270
17.4.2	间接加热连续脱硅	272
17.4.3	铝酸钠溶液的深度脱硅	273
17.4.4	粗液两段常压脱硅工艺	276
第 18 章	铝酸钠溶液的碳酸化分解	279
18.1	碳酸化分解过程的原理	279
18.1.1	碳酸化分解过程中的铝酸钠溶液的结构	279
18.1.2	铝酸钠溶液碳酸化分解机理	280
18.2	影响碳分过程的主要因素	283
18.2.1	精液的成分与碳酸化深度(分解率)	284
18.2.2	原液分子比	286
18.2.3	二氧化碳气体的纯度、浓度和通气时间	287
18.2.4	温度	288
18.2.5	晶种	290
18.2.6	搅拌	291
18.3	碳分过程中氧化硅的行为	291
18.4	碳酸化分解率的连续控制	294
18.5	碳分过程的工艺	295
第 19 章	富矿烧结生产氧化铝	298
19.1	富矿烧结工艺发展的意义	298
19.1.1	传统烧结法的发展限制	298
19.1.2	富矿烧结工艺发展意义	299
19.1.3	富矿烧结需解决的问题	300
19.2	富矿的烧结	300
19.2.1	富矿熟料的烧结温度	301
19.2.2	富矿熟料的碱比	302
19.2.3	富矿熟料的钙比	303
19.2.4	富矿熟料的主矿物	304
19.2.5	富矿熟料与普矿熟料成分的对比	305
19.3	富矿熟料的溶出	305
19.3.1	溶出液固比(L/S)对不加钙富矿熟料溶出效果的影响	306
19.3.2	溶出时间对不加钙富矿熟料溶出效果的影响	306
19.3.3	加钙富矿熟料的溶出	307
19.3.4	溶出赤泥与沉降	307
19.4	溶出浆液的脱硅	309
19.4.1	富矿熟料溶出泥浆不分离加压脱硅	309
19.4.2	加钙富矿熟料溶出泥浆不分离加压脱硅	310

19.4.3 不同晶种对溶出泥浆不分离加压脱硅的影响	311
19.4.4 不同富矿熟料脱硅效果对比	312

第 20 章 关于我国氧化铝工业的可持续发展 313

20.1 我国氧化铝工业的发展方向	313
20.2 低成本处理我国中低品位铝土矿合理工艺的讨论	314
20.2.1 选矿拜耳法	314
20.2.2 石灰拜耳法	316
20.2.3 富矿烧结法	317
20.2.4 混联法氧化铝厂的改进与优化	318

参考文献 322

第1章

绪论

1.1 氧化铝工业的发展

由于铝及其合金具有许多优良性能，而且铝的资源又很丰富，因此，铝工业自问世以来发展十分迅速。1890年至1900年，全世界金属铝的总产量约为2.8万吨，到20世纪50年代中叶，铝的产量已超过铜而居有色金属之首位，产量仅次于钢铁。1990年世界原铝产量为1600多万吨（此外还有占铝总消耗量20%左右的再生铝），约占世界有色金属总产量的40%；而2003年世界原铝产量达到2800万吨。

表1-1给出了20世纪90年代世界铝产量和我国铝产量。

表 1-1 世界铝产量和我国铝产量统计 单位：万吨

年 份	1995	1996	1997	1998	2001	2002	2003
世界原铝产量	1974	2079	2179	2266	2447	2609	2800
我国原铝产量	171.0	190.0	217.8	241.8	339.5	436.0	550.0
全球原铝消费量	2030	2085	2201	2219	2382	2523	2717
我国原铝消费量	191	204	218	240	465	425	520
我国进口铝锭	38.8	36.6	28.8	30.6	13.0	20.6	49.0

冰晶石-氧化铝熔体电解仍然是目前工业生产金属铝的惟一方法，所以铝生产包括从铝矿石生产氧化铝以及电解炼铝两个主要过程。每生产1t金属铝消耗近2t氧化铝。因此，随着电解炼铝的迅速增长，氧化铝生产也迅速发展起来。

世界各地和部分国家的氧化铝产量见表1-2和表1-3。

表 1-2 各地区氧化铝产量对比表 单位：万吨

年份	1996	1997	1998	1999	2000	2003
地区						
欧洲	951.4	989.9	1020.1	1042.9	1109.9	1136.3
非洲	62.2	52.7	50.0	56.9	54.1	72.3
亚洲	548.4	668.1	727.5	796.6	883.0	846.7
北美	588.4	622.3	651.5	592.0	547.6	520.4
中南美	933.4	998.9	1058.3	1087.0	1150.3	1226.2
大洋洲	1335.9	1347.9	1385.8	1462.0	1571.5	1655.0
合计	4419.7	4679.8	4893.2	5037.4	5316.4	5456.9

表 1-3 2001 年世界氧化铝产量前五位的国家

国 家	澳大利亚	中 国	美 国	牙买加	巴 西
产量/(万吨/年)	1634.6	474.7	416.9	353.5	350.7
占全球比例/%	30.2	8.8	7.7	6.52	6.47

90%以上的氧化铝是供电解炼铝用，因此，氧化铝工业的盛衰主要取决于电解炼铝工业的发展状况。电解炼铝以外使用的氧化铝称之为非冶金用氧化铝或多品种氧化铝。世界上非冶金用氧化铝的开发十分迅速，并在电子、石油、化工、耐火材料、精密陶瓷、军工、环境保护及医药等许多高新技术领域取得广泛的应用。1989 年世界非冶金用氧化铝产量 314.8 万吨，1990 年 340 万吨，2003 年达到 465 万吨。目前非冶金用氧化铝达 300 多种。

世界第一个用拜耳法生产氧化铝的工厂投产于 1894 年，日产仅 1 吨多。一百多年来，随着世界铝需求量的增加，氧化铝工业发展很快，2003 年世界氧化铝总产能已达到 6331 万吨，总产量为 5922 万吨，其中冶金级氧化铝产量达到 5457 万吨，非冶金级氧化铝产量达到 465 万吨。氧化铝工业的发展，促使其生产技术和装备水平不断提高。

首先，工厂的生产规模不断扩大。生产规模的扩大，生产工艺的改进，使生产设备日益大型化和高效化。溶出设备的单台体积已达 420m³，分解槽单台为 4500m³，单层沉降槽直径达 30~40m，压力式赤泥过滤机为 270m²，真空式为 100m²，叶滤机为 400m² 等。

设备大型化有利于工艺过程的自动监测和控制。以现代微机为基础的监控装置和生产过程的计算机管理系统的应用，为氧化铝厂提高劳动生产率、降低原材料消耗和节能提供了巨大潜力。

另外，在流程和工艺上也有许多变化和提高。氧化铝生产技术的进步，集中表现在能耗和劳动力消耗大幅度降低，使生产成本下降。在 20 世纪 50 年代初期，每吨氧化铝的综合能耗为 30GJ，人工消耗在 10 个工时以上；到了 80 年代初期，能耗降到 13GJ，人工消耗 0.9~1.6 工时；到了 2000 年，每吨氧化铝的综合能耗降到 9~12GJ。

1.2 我国氧化铝工业

1.2.1 我国氧化铝工业的发展

建国以来，我国氧化铝工业从无到有，从小到大，取得了很大成绩，先后建立了山东、郑州、贵州三个氧化铝厂。特别是在国家优先发展铝的方针的指导下，陆续建成了山西、中州、平果等重点氧化铝企业，我国六大氧化铝基地已基本形成，其基本状况见表 1-4。

(1) 山东铝厂 1954 年 7 月 1 日，我国第一个氧化铝厂——山东铝厂（烧结法）投产，当时年产量仅为 3.5 万吨；1955~1990 年先后经四次扩建，产能由 3.5 万吨增至 50 万吨；1993 年，利用印尼三水铝石矿建小拜耳法厂 6 万吨，总计 56 万吨；2001 年产量已达 80 万吨；2003 年产量为 95 万吨。

(2) 郑州铝厂 于 1965 年投产，年产量为 20 万吨，经 1966~1986 年两期扩建，产能由 20 万吨增至 62 万吨；1999 年完成四期扩建，产能达 80 万吨；2001 年产能为 100 万吨；2003 年产量为 137 万吨。

(3) 贵州铝厂 于 1978 年完成一期建设，拜耳法投产，其产能为 15 万吨；1989 年完

成二期建设,形成完整的混联法体系,产能达40万吨;2002年产量为65万吨;2003年产量超过75万吨。

(4) 山西铝厂 1987年一期烧结法投产,产能20万吨;1992年完成二期混联法,产能达70万吨;1994年形成产能120万吨;2002年产量为136万吨;2003年产量超过140万吨,是目前国内最大的氧化铝厂。

(5) 中州铝厂 1992年一期烧结法投产,产能20万吨;2001年达到50万吨;2002年产量为80万吨;2003年产量为85万吨。

(6) 平果铝厂 1995年一期拜耳法投产,产能30万吨,计划最终规模120万吨,2002年产量为45万吨;2003年产量超过68万吨。2001年与美铝合资,现由中铝公司和美铝共同控股。

表 1-4 我国六大氧化铝厂主要情况 (2003 年)

厂 名	生产方法	投产时间	产量/万吨	碱耗/(kg/t _{AO})	综合能耗/(GJ/t _{AO})
山东铝厂	烧结法为主	1954 年	95.03	81.2	36.66
郑州铝厂	混联法	1965 年	137.50	63.0	29.38
贵州铝厂	混联法	1978 年	75.21	68.1	38.16
山西铝厂	混联法	1987 年	141.60	58.2	33.72
中州铝厂	烧结法为主	1992 年	85.10	62.3	40.12
平果铝厂	拜耳法	1995 年	68.90	64.5	12.61
总计	—	—	603.34	—	—

我国氧化铝工业自1954年起始以来,发展迅速,基本以每十年翻一翻的速度飞速发展,2002年产量突破500万吨,2003年产量突破600万吨。

我国氧化铝产量及发展速度见表1-5。

表 1-5 我国氧化铝产量的变化

年 份	1954	1966	1970	1980	1985	1990	1994	1999	2001	2002	2003
产量/万吨	3.5	45.8	52.7	85.5	102.4	146.4	184.7	384.2	468.77	544	609.4

1.2.2 我国氧化铝生产所取得的主要技术成就

我国氧化铝工业从1954起始,在不到50年的时间里,不仅产量增加超过了170倍,在技术方面也取得了卓有成效的进步,其主要技术成就如下。

① 独创了适合当时我国国情的混联法工艺,同时用拜耳法处理高品位铝土矿,用烧结法处理低品位铝土矿,取得比采用单一拜耳法或单一烧结法生成氧化铝更好的经济效果。

② 烧结法熟料烧成强化技术,包括生料浆配料、非饱和配方、石灰配料、生料加煤脱硫技术和熟料窑热工自动控制技术。

非饱和配方是与饱和配方比较而言的。烧结法生产氧化铝发明时的基本原理是在烧结过程中实现两个化学反应,其中的摩尔比分别为:

$$[\text{Na}_2\text{O}]/[\text{Al}_2\text{O}_3]=1.0, [\text{CaO}]/[\text{SiO}_2]=2.0$$

该配比可以保障反应物恰好结合。在生产实践中为取得较好的熟料质量及溶出指标,控制配比逐步调整形成熟料配比(N/R)只有0.92~0.96,大大低于常规1.0的基本要求的配方,已成为我国烧结法氧化铝生产的重要工艺技术。

石灰配料是相对石灰石配料而言的。烧结法氧化铝生产技术发明时,配料需要的 CaO 是以石灰石 (CaCO_3) 方式加入的,在烧结过程中先发生石灰石的分解反应,再发生烧成反应完成 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 的结合,增加了熟料窑内的反应热,也影响了熟料窑的产能,改用石灰配料则直接发生烧成反应完成 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 的结合,不仅提高了熟料窑的产能,而且稳定熟料窑的操作,提高了熟料质量。

生料加煤还原烧结是在生料配料过程中,添加一定量的煤,在烧结过程中起还原作用,将硫酸钠中的高价硫还原为负二价硫,使其生成硫化亚铁进入赤泥,从而达到降低纯碱消耗的目的,该技术已成为我国烧结法氧化铝生产的独特工艺技术。

回转窑热工自动控制是 20 世纪 90 年代伴随着计算机技术广泛应用开发的新技术,全部熟料窑操作控制参数进入微机化管理,实现了回转窑烧成带温度的自动检测与模糊逻辑控制,可提高产能 5%、降低煤耗 5%、降低黄料率 3%,是现代技术改造传统装备的典范。

③ 烧结法熟料溶出技术,包括低苛性分子比溶出技术、高碳酸钠浓度二段磨溶出技术。

低苛性分子比溶出技术主要是为了克服溶出过程 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 的二次反应,使净溶出率得到提高。因为该二次反应速度与溶液的苛性氧化钠浓度关系密切,生产过程中希望较高的氧化铝浓度,因此必须降低苛性比,以达到降低苛性氧化钠、减少二次反应的目的。

熟料二段磨溶出技术是针对传统一段磨溶出的问题实施的技术改进,可以实现一次溶出赤泥的快速分离,有效避免溶出过程二次反应损失,提高氧化铝和氧化钠的溶出率达 4% 以上,还可以极大地提高溶出磨的能力,同时更加易于溶出磨的操作。

④ 粗液脱硅技术,包括间接加热连续脱硅技术、加石灰乳深度脱硅技术和 HCAC 脱硅技术。

间接加热连续脱硅是指加热蒸汽与被加热溶液不直接接触而进行的脱硅技术,不仅避免了蒸汽对溶液的稀释,而且实现了连续操作;操作的劳动强度减轻,操作的稳定性提高,脱硅指数的控制更加稳定,同时可以在脱硅及蒸发过程节约大量的新蒸汽消耗,还可以提高设备的运转效率。

深度脱硅技术是 20 世纪 80 年代开发的专有技术,是在传统脱硅的基础上进一步加深脱硅程度,达到大幅度提高精液质量 (A/S) 的要求,可使精液的 A/S 由 450 提高到 1000 以上,对于确保氧化铝质量至关重要,也是连续碳酸化分解技术应用的重要支撑技术之一。

HCAC 脱硅技术是脱硅用石灰乳在加入脱硅前,先与部分粗液合成水合铝硅酸钙,增加其活化能后再加入粗液进行脱硅,可以以较少的石灰乳消耗和较短的作业时间,并在较低的作业温度下完成脱硅作用,同时可获得较高的精液质量,从而减少脱硅氧化铝的循环量。

⑤ 富矿强化烧结工艺。

原中南工业大学杨重恩教授等在试验研究的基础上提出了两组分两段烧结法新工艺,突破了烧结法不能处理高铝硅比原料的传统观念。

在此基础上,通过对富矿强化烧结法的生料配方、熟料烧成及溶出、赤泥分离及粗液脱硅、高浓度碳酸化分解等过程的系统研究,建立了和传统烧结法有着本质不同的物料平衡以及工艺技术指标体系,初步形成了富矿强化烧结法生产氧化铝新工艺。

富矿强化烧结法对不同铝硅比的含铝原料有广泛的适应性,允许生料配方在较大的范围内波动。用富矿强化烧结法处理高铝硅比矿石,可在不增加大量设备投资的情况下大幅度提高烧结法产量,降低生产成本。

⑥ 拜耳法强化溶出技术,包括管道化溶出、单管预热——压煮器间接加热溶出、管道

预热——停留罐溶出技术、混联法中的拜耳法不平衡溶出和双料法溶出技术等。

⑦ 赤泥絮凝沉降分离技术，包括大直径平底沉降槽技术、深锥高效沉降槽技术。

⑧ 分解技术，包括高浓度二氧化碳分解技术、连续碳酸化分解技术、碳酸化分解生产砂状氧化铝和晶种分解生产砂状氧化铝工艺技术。

高浓度二氧化碳分解技术是与石灰配料技术同步实施的，避免了使用窑气分解因浓度低所需的大量输送问题，同时可以加快碳分的分解速度、提高二氧化碳的利用率，特别有利于提高产品的质量。

连续碳酸化分解技术是对间断碳酸化分解工艺的彻底改变，也是20世纪90年代开发应用的新技术，将原有的间断碳酸化分解的分解槽，经过串联改造成4~5个分解槽一组使用，实现分解过程的连续操作、连续分解，提高了设备的产能、提高了二氧化碳的吸收率、减轻了操作者的劳动强度，尤其重要的是氢氧化铝的分解机理发生了重大变化，已经不是单纯的碳酸化分解，具有混合分解的模式，不仅改善了产品的化学质量，更为重要的是改善了产品的物理质量，分解所得氢氧化铝为具有附聚型、高比表面积、粗颗粒的产品，成为生产砂状氧化铝的成熟技术，已经在多个厂家得到推广应用。

⑨ 氧化铝焙烧技术，包括美铝 Mark 型闪速焙烧炉、丹麦气体悬浮燃烧炉、循环流态化焙烧炉。

⑩ 五效管式降膜——强制循环蒸发器蒸发技术。

降膜蒸发器在氧化铝生产过程中得到应用，使得蒸发过程操作稳定、蒸发汽耗大幅度降低（50%），过程实现微机控制，浓度指标控制稳定，有利于氧化铝生产的均衡提高。

⑪ 铝酸钠溶液成分电导率法在线实时检测技术。它是通过在两个温度下测定铝酸钠溶液两个电导率值，然后在计算机上求解方程得到铝酸钠溶液的苛性碱和氧化铝浓度值。它可以在每5s内准确地给出一组测定值。中国铝业山西分公司将这一技术用在了拜耳法配料的循环母液苛性碱和氧化铝浓度在线检测，这就实现了循环母液浓度的实时检测，实现了对生产的及时指导和调整。经5个月的运行，使循环母液的苛性碱浓度合格率从原来的57%提高到71%。循环母液的苛性碱浓度平均值有所提高，提高了拜耳法的循环效率。这一技术也为氧化铝生产的湿法过程的自动化控制打下了基础。这一成果是由东北大学在实验室研究的基础上，先后又与原贵州铝厂和山西铝厂合作完成，已获专利并通过专家技术鉴定。

⑫ 串联联合法生产氧化铝工艺。

⑬ 石灰拜耳法生产氧化铝工艺（1998年通过鉴定）。

⑭ 正浮选选矿拜耳法生产氧化铝工艺（1999年通过鉴定）。

1.2.3 我国氧化铝工业存在的主要问题

我国氧化铝生产与国外氧化铝生产存在的主要差距表现在以下几方面。

（1）我国生产方法主要是流程复杂的混联联合法和烧结法。生产方法主要取决于矿石的A/S。国外铝土矿多为A/S高的三水铝石，因此生产方法是流程简单的拜耳法，而我国铝土矿主要是中、低品位的难溶的一水硬铝石，生产方法除广西分公司为拜耳法外其他厂均为流程复杂的混联联合法或烧结法。

（2）生产规模偏小、技术装备水平较低。我国六大氧化铝厂，2002年总产量为544万吨，平均规模为90万吨，2003年总产量为604万吨，平均规模为100万吨。而澳大利亚的平均规模在230万吨以上，产能最大的格拉斯通氧化铝厂，年产氧化铝370万吨。