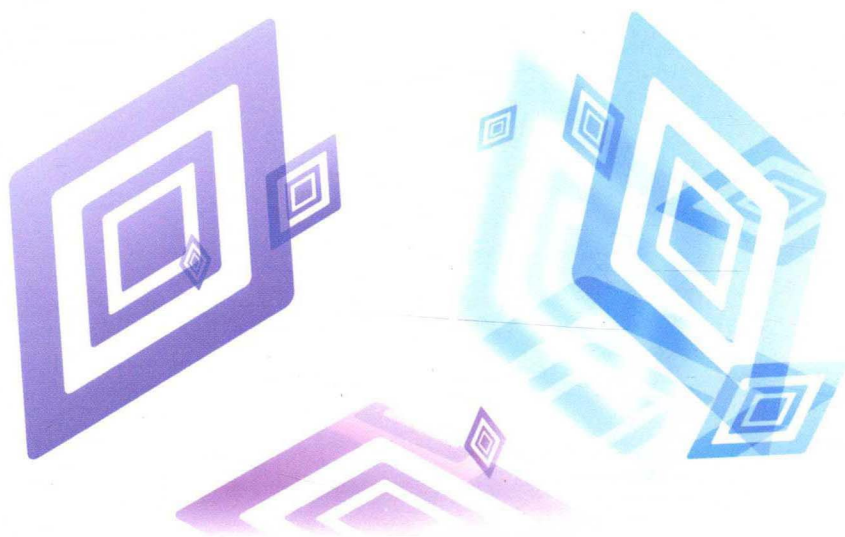




高职高专“十二五”规划教材

国家骨干高职院校建设“冶金技术”项目成果



粉煤灰提取氧化铝生产

FENMEIHUI TIQU YANGHUALÜ SHENGCHAN

主 编 丁亚茹 孙振斌

副主编 张 顺 吴彦宁 周立平



冶 金 工 业 出 版 社
Metallurgical Industry Press

高职高专“十二五”规划教材
国家骨干高职院校建设“冶金技术”项目成果

粉煤灰提取氧化铝生产

主 编 丁亚茹 孙振斌
副主编 张 顺 吴彦宁 周立平

北 京

冶金工业出版社

2013

内 容 提 要

本书主要介绍粉煤灰预脱硅—碱石灰烧结法提取氧化铝。全书分为八个学习情境,首先介绍了氧化铝生产的基础知识,然后按照粉煤灰提取氧化铝生产的流程依次介绍了粉煤灰预脱硅、生料浆制备、熟料烧结、熟料溶出、分解分级、氢氧化铝焙烧、母液蒸发等知识,每部分知识作为一个项目,每个项目包含理论知识学习、企业实际生产操作、实验室制备三个主要部分。

本书可作为高等职业技术学院冶金类专业学生的教学用书,也可作为冶金行业人员培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

粉煤灰提取氧化铝生产/丁亚茹,孙振斌主编. —北京:
冶金工业出版社, 2013. 12

高职高专“十二五”规划教材. 国家骨干高职院校建设
“冶金技术”项目成果

ISBN 978-7-5024-6550-6

I. ①粉… II. ①丁… ②孙… III. ①粉煤灰—氧化铝
—生产技术—高等职业教育—教材 IV. ①TF821

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 030752 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcs@cnmip.com.cn

责任编辑 廖 丹 美术编辑 杨 帆 版式设计 葛新霞

责任校对 禹 蕊 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6550-6

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京百善印刷厂印刷

2013 年 12 月第 1 版, 2013 年 12 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 8 印张; 189 千字; 114 页

20.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

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(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

内蒙古机电职业技术学院

国家骨干高职院校建设“冶金技术”项目成果

教材编辑委员会

- 主任** 白培珠 内蒙古自治区经济和信息化委员会 副主任
内蒙古机电职业技术学院校企合作发展理事会 理事长
张美清 内蒙古机电职业技术学院 院长
内蒙古机电职业技术学院校企合作发展理事会 常务副理事长
- 副主任** 任玉祥 内蒙古自治区经济和信息化委员会原材料工业处 处长
校企合作发展理事会冶金分会 理事长
王文儒 内蒙古大唐国际再生资源开发有限公司 常务副总经理
孙振斌 内蒙古大唐国际再生资源开发有限公司 副总经理
侯永旺 鄂尔多斯电力冶金股份有限公司 党委书记 副总经理
贾振国 包头钢铁集团公司 纪委书记
修世敏 内蒙古霍林河煤业集团有限责任公司 副总经理
孙喜平 内蒙古机电职业技术学院 副院长
内蒙古机电职业技术学院校企合作发展理事会 秘书长
- 委员** 邓忠贵 戴英飞 周立平 内蒙古大唐国际再生资源开发有限公司
闫学良 吴彦宁 大唐内蒙古鄂尔多斯铝硅科技有限公司
夏长林 于 鹏 包头钢铁集团稀土高科股份有限公司
赵占峰 张俊龙 包头钢铁集团华美稀土高科有限公司
贾佼成 鲍永强 中铝集团包头铝业集团公司
马海疆 高 琪 鄂尔多斯集团化工集团公司
刘国征 武 斌 包钢稀土研究院
史晓光 张 敬 内蒙古方圆科技有限公司
曹新胜 张建军 内蒙古光泰铝业有限公司
陈 强 董拥军 包头亚新隆顺特钢有限公司
石 富 刘敏丽 张秀玲 内蒙古机电职业技术学院
- 秘 书** 王 优 (010-64046165, wangy82@aliyun.com) 冶金工业出版社

序

2010年11月30日我院被国家教育部、财政部确定为“国家示范性高等职业院校”骨干高职院校立项建设单位。在骨干院校建设工作中,学院以校企合作体制机制创新为突破口,建立与市场需求联动的专业优化调整机制,形成了适应自治区能源、冶金产业结构升级需要的专业结构体系,构建了以职业素质和职业能力培养为核心的课程体系,校企合作完成专业核心课程的开发和建设任务。

学院冶金技术专业是骨干院校建设项目之一,是中央财政支持的重点建设专业。学院与内蒙古大唐国际再生资源开发有限公司共建“高铝资源学院”,合作培养利用高铝粉煤灰的“铝冶金及加工”方向的高素质高级技能型专门人才;同时逐步形成了“校企共育,分向培养”的人才培养模式,带动了钢铁冶金、稀土冶金、材料成型等专业及其方向的建设。

冶金工业出版社集中出版的这套教材,是国家骨干高职院校建设“冶金技术”项目的成果之一。书目包括校企共同开发的“铝冶金及加工”方向的核心课程和改革课程,以及各专业方向的部分核心课程的工学结合教材。在教材编写过程中,面向职业岗位群任职要求,参照国家职业标准,引入相关企业生产案例,校企人员共同合作完成了课程开发和教材编写任务。我们希望这套教材的出版发行,对探索我国冶金职业教育改革的成功之路,对冶金行业高技能人才的培养,能够起到积极的推动作用。

这套教材的出版得到了国家骨干高职院校建设项目经费的资助,在此我们对教育部、财政部和内蒙古自治区教育厅、财政厅给予的资助和支持,对校企双方参与课程开发和教材编写的所有人员表示衷心的感谢!

内蒙古机电职业技术学院 院长

张立清

2013年10月

前言

我国铝土矿资源日渐衰竭,已不足十年使用。粉煤灰是从煤燃烧烟气中收捕下来的细灰,是火电厂电煤发电后的主要固体废物,污染环境,占用大量土地。内蒙古中西部地区的煤的主要夹杂矿物有大量的高岭石和勃姆石以及少量的方解石和黄铁矿四种,属于高铝、低硅、低铁的矿藏,经火电厂发电后,其粉煤灰中氧化铝的含量为40%~55%,具有较高的氧化铝提取价值,现已有多家大型企业开始从粉煤灰中提取氧化铝。

本书主要介绍粉煤灰预脱硅-碱石灰烧结法提取氧化铝。全书分为八个学习情境,首先介绍了氧化铝生产的基础知识,然后按照粉煤灰提取氧化铝生产的流程依次介绍了粉煤灰预脱硅、生料浆制备、熟料烧结、熟料溶出、分解分级、氢氧化铝焙烧、母液蒸发等知识,每部分知识作为一个项目,每个项目包含理论知识学习、企业实际生产操作、实验室制备三个主要部分。本书的特点是,跳出了传统的学科体系,偏重实践操作。

本书由内蒙古机电职业技术学院丁亚茹、内蒙古大唐国际再生资源开发有限公司孙振斌担任主编,内蒙古机电职业技术学院张顺、内蒙古大唐国际再生资源开发有限公司周立平、大唐鄂尔多斯硅铝科技有限公司吴彦宁担任副主编,内蒙古机电职业技术学院李峰,内蒙古大唐国际再生资源开发有限公司李旭、段国三、邓忠贵,大唐鄂尔多斯硅铝科技有限公司闫学良,内蒙古中环光伏材料有限公司丁亚青参加编写。其中,丁亚茹编写学习情境一以及学习情境二至学习情境四的任务一至任务三,孙振斌、李旭、段国三编写学习情境二至学习情境四的任务四,张顺、丁亚青编写学习情境五至学习情境六的任务一至任务三,吴彦宁、闫学良编写学习情境五至学习情境六的任务四,李峰编写学习情境七至学习情境八的任务一至任务二,邓忠贵、周立平编写学习情境七至学习情境八的任务三。

内蒙古机电职业技术学院刘敏丽教授审阅了书稿并提出了许多宝贵的建议,在此表示衷心的感谢。本书编写过程中参阅了相关文献,对文献的作者一

并表示诚挚的谢意。

本书可作为高等职业技术学院冶金类专业学生的教学用书，也可作为冶金行业人员培训教材。

由于编者水平有限，书中不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者
2013年8月

目 录

学习情境一 氧化铝生产的基础知识	1
任务一 粉煤灰的综合利用价值	1
一、粉煤灰的来源	1
二、粉煤灰的危害	1
三、粉煤灰的综合利用	2
四、高铝粉煤灰的应用	2
五、铝资源需求的迅猛增长及优质铝土矿的供应危机	3
任务二 铝矿藏	3
一、铝矿藏的类型	3
二、铝土矿的质量标准	4
三、高铝粉煤灰的质量	4
任务三 氧化铝的生产方法	4
一、拜耳法生产氧化铝	4
二、烧结法生产氧化铝	7
三、粉煤灰预脱硅-碱石灰烧结法	9
任务四 氧化铝及其水合物的性质	9
一、氧化铝水合物的分类	9
二、氧化铝水合物的性质	10
三、电解炼铝对氧化铝的质量要求	10
任务五 铝酸钠溶液	11
一、铝酸钠溶液浓度的表示法	11
二、铝酸钠溶液的特性参数	12
学习情境二 粉煤灰预脱硅	13
任务一 粉煤灰预脱硅的意义	13
一、高铝粉煤灰的定义	13
二、高铝粉煤灰的成分	13
三、二氧化硅的危害	13
任务二 粉煤灰预脱硅的原理、工艺及参数	14
一、粉煤灰预脱硅的原理	14

二、粉煤灰预脱硅的工艺流程	14
三、粉煤灰预脱硅的参数	14
任务三 实验室制取高铝硅比的粉煤灰	16
一、粉煤灰脱硅的目的	16
二、粉煤灰预脱硅原理	16
三、实验室粉煤灰预脱硅的原材料准备	16
四、粉煤灰预脱硅操作过程	20
任务四 粉煤灰提取氧化铝生产设备与操作	21
一、配碱操作	21
二、粉煤灰预调配操作	27
三、粉煤灰预脱硅操作	32
学习情境三 生料浆制备	40
任务一 生料浆制备的意义	40
任务二 生料浆制备的原理、工艺和参数	40
一、配矿	40
二、配料指标	41
三、生料浆的配制操作	41
任务三 实验室制取生料浆	42
一、目的	42
二、指标	42
三、配料计算方法	42
四、操作	43
任务四 生料浆制备与预调配的设备与操作	43
一、生料浆制备	43
二、粉煤灰预调配	56
学习情境四 熟料烧结	64
任务一 熟料烧结的意义	64
任务二 熟料烧结的原理、工艺和参数	64
一、原理	64
二、工艺	68
任务三 实验室烧结熟料	70
一、实验原理	70
二、主要仪器及设备	70
三、实验步骤	70
四、相关因素对焙烧效果的影响	71

任务四 熟料烧结的设备与操作	72
一、熟料烧结的目的	72
二、工艺	72
三、设备简介	72
四、设备操作	73
五、常见故障及处理	77
学习情境五 熟料溶出	81
任务一 熟料溶出的意义	81
任务二 熟料烧结的原理、工艺	81
一、衡量熟料溶出效果的指标	81
二、熟料溶出过程的反应	81
三、熟料溶出工艺	82
任务三 实验室溶出铝酸钠溶液	82
一、铝酸钠粗液的深度脱硅	83
二、铝酸钠精化液的二氧化碳分解	83
任务四 熟料溶出的设备与操作	84
一、熟料溶出操作	84
二、常见故障及处理	84
学习情境六 分解分级	86
任务一 分解分级的意义	86
任务二 分解分级的原理、工艺	86
一、晶种分解的原理和工艺	86
二、碳分分解的原理和工艺	88
任务三 实验室制氢氧化铝	89
一、晶种分解的目的	89
二、主要仪器及设备	89
三、实验步骤	90
任务四 分解分级的设备与操作	90
一、晶种分解的设备与操作	90
二、碳分分解的设备与操作	96
学习情境七 氢氧化铝焙烧	103
任务一 氢氧化铝焙烧的意义	103
任务二 氢氧化铝焙烧的原理、工艺	103
一、氢氧化铝焙烧的原理	103

二、煅烧过程对氧化铝质量的要求	103
三、氢氧化铝焙烧工艺流程	104
任务三 氢氧化铝焙烧的设备与操作	104
一、生产流程	104
二、相关设备简介	104
三、设备操作	106
学习情境八 母液蒸发	109
任务一 母液蒸发的意义	109
任务二 母液蒸发的原理、工艺	109
一、基本原理	109
二、分解母液中各种杂质在蒸发过程中的行为	109
三、蒸发操作工艺	110
任务三 母液蒸发的设备与操作	112
一、设备操作	112
二、常见故障及处理	113
参考文献	114

学习情境一 氧化铝生产的基础知识

任务一 粉煤灰的综合利用价值

一、粉煤灰的来源

粉煤灰是火电发电厂电煤发电后的固体废弃物。煤粉在炉膛中呈悬浮状态燃烧，燃煤中的绝大部分可燃物（如碳、硫、磷、氮等）都能在炉内烧尽，储存在有机碳中的能量转化为热能，而煤粉中的不燃物（无机矿物质）在经历了骤热、骤冷两次温度突变之后，发生了不同程度的物理和化学变化，绝大部分经熔融、聚合而形成粉煤灰粒子。这些不燃物因受到高温作用而部分熔融，同时由于其表面张力的作用，形成大量细小的球形颗粒。在锅炉尾部引风机的抽气作用下，含有大量灰分的烟气流向炉尾。在排风设备将其排入大气之前，烟气中绝大多数的球形颗粒经过除尘器，被分离、收集，即称为粉煤灰，也叫飞灰。少数煤粉粒子在燃烧过程中，由于碰撞黏结成块，沉积于炉底，称为底灰。飞灰一般占灰渣总量的 80% ~ 90%，底灰约占 10% ~ 20%。粉煤灰中一般富含多种有用的主微量元素。

20 世纪后半叶，随着世界人口的迅速增长以及工业化程度的日益提高，国内外对包括电能在内的各种能源的需求量迅速增长，发电用煤的消耗量与日俱增，导致粉煤灰的排放量也急剧增加。

二、粉煤灰的危害

我国是产煤大国，全国煤炭资源储量达 3.95 万亿吨。据中国煤炭工业协会统计，2011 年，我国煤炭消耗量达 34.62 亿吨，其中电煤消耗量约 16 亿吨，2012 年，我国煤炭消耗量达 37 亿吨，电煤消耗量达到 16.1 亿吨。1t 煤粉平均产生 150kg 粉煤灰。粉煤灰作为一种工业固体废弃物，如果不及时处理或者处理不当，就会对环境甚至人类的生存造成严重的危害。大量堆积的粉煤灰会对环境造成以下几个方面的危害和影响：

(1) 占用土地，浪费资源。储存或者堆放粉煤灰需要占据大量的土地或农田，并浪费大量的人力、物力、财力。据统计，每掩埋或者储存 1t 粉煤灰，处理费用约为 15 ~ 20 元。

(2) 污染空气。储存于灰场的干燥粉煤灰，只要有四级以上的风力，即可将表层灰粒剥离扬起，扬灰高度可达 20 ~ 50m。悬浮于大气中的粉煤灰不仅影响能见度，而且会造成空气质量严重恶化，在潮湿环境中还会腐蚀建筑物、工程设施等的表面。

(3) 污染水体。对水体的污染主要是电厂湿法排灰将大量粉煤灰直接排入江、河、湖而造成的。粉煤灰进入水体，使水体浊度增加，形成的沉积物会堵塞河床，使湖泊变浅，悬浮物和可溶物会恶化水质。此外，一般湿排 1t 粉煤灰需耗水 20m³，造成水资源的极大浪费。

费,而粉煤灰中 Pb、Hg、Cr、Cd、As 等有毒有害元素的淋滤液也会造成地下水的污染。

(4) 污染土壤。储存在灰场及漂浮于大气中的粉煤灰降落到地面都会污染土壤,造成土质碱化及其他影响,影响农作物、植物生长及养殖业、畜牧业生产。

(5) 放射性污染。大多数粉煤灰中均含有一定量的 U、Th 等放射性元素,这些放射性元素会对粉煤灰储存地及附近造成较为明显的放射性污染。

(6) 影响人类健康。粉煤灰中所含的重金属元素、有毒物质、放射性物质等有害物若通过污染空气、水体、土壤及农作物后进入人体,会对人类的呼吸道系统产生不利影响,危害人体健康。

三、粉煤灰的综合利用

粉煤灰综合利用有以下几方面:

(1) 利用粉煤灰的某些物理化学特性的应用。

1) 用作填筑材料,用于综合回填、矿井回填、小坝和码头等填筑;

2) 用作水泥原料;

3) 用在农业上,生产粉煤灰复合肥及土壤改良;

4) 用于建筑工程和道路工程。

(2) 作为再生资源储存。

1) 用于提取其中的空心微珠、碳粒、金属及化合物等有用物质;

2) 用于废水、废气和大气治理;

3) 用来制备耐火材料;

4) 用于合成沸石等有用矿物。

虽然有以上几种粉煤灰的利用方法,但我国粉煤灰综合利用率仅为 40.6%,与发达国家相比利用率较低。

四、高铝粉煤灰的应用

粉煤灰作为再生资源利用,主要是从其中提取氧化铝、铝硅合金、铝硅铁合金。内蒙古地区由于存在高铝粉煤灰,形成了煤—电—粉煤灰—氧化铝(铝硅合金或铝硅铁合金)—铝—铝硅合金或铝硅铁合金的绿色循环产业链。

(一) 高铝粉煤灰中氧化铝的提取价值

高铝粉煤灰中一般氧化铝含量为 50% 左右,氧化硅含量为 45% 左右,氧化铁含量为 2%~3%,由于其氧化铝含量较高,具有提取价值。

(二) 高铝粉煤灰提取氧化铝的意义

高铝粉煤灰提取氧化铝的意义如下:

(1) 解决我国铝土矿资源衰竭的问题;

(2) 改变我国铝资源分布不均衡的现状;

(3) 保护环境, 变废为宝, 降低电厂处理粉煤灰的成本。

教科書的節節土器

五、铝资源需求的迅猛增长及优质铝土矿的供应危机

人们对煤炭需求量日益增加的同时, 对铝、铜、铅、锌等有色金属的需求量也在不断增加, 其中对铝的需求量最大。由于铝主要来源于氧化铝的电解, 对铝需求量的急剧增加导致了氧化铝生产的大量增加, 也同时导致了氧化铝价格的大幅上升。据英国商品研究所 (CRU) 统计, 2005 年全球氧化铝产量约为 6131 万吨, 需求约 6230 万吨, 供需缺口 99 万吨, 与此同时, 2005 年氧化铝的国际市场价格每吨上涨到 5200 元的历史最高水平。2006 年, 全球氧化铝总产量为 6767.8 万吨, 总消费量为 6606.4 万吨, 供需富余 161.4 万吨, 氧化铝的价格有所回落。在国内, 我国氧化铝的供求矛盾更为突出, 2005 年, 我国氧化铝总产量为 850 万吨左右, 进口量高达 690 万吨, 2006 年总产量猛增到 1268 万吨, 进口量依然高达 650 万吨左右。

目前, 国内外的氧化铝几乎全部来源于铝土矿。在我国, 氧化铝的大量生产导致优质铝土矿急剧减少。尽管我国铝土矿资源丰富, 但 Al/Si 大于 10 的优质铝土矿很少, 95% 的铝土矿品位低、 Al/Si 低、溶出性差, 决定了我国氧化铝生产工艺流程长、能耗高、成本高, 加之我国铝土矿分布极不平衡 (我国的铝土矿主要分布在山西、河南、贵州、山东和广西五省区, 其他地区分布很少), 且铝土矿开采技术落后, 开采效率低下, 进一步加速了我国优质铝土矿的枯竭。在上述背景下, 探索新的氧化铝来源渠道具有重大意义。

任务二 铝矿藏

铝是地壳中分布最广的元素之一, 在地壳中的含量为 8.8%, 仅次于氧和硅, 位于第三位。在金属元素中, 铝元素在地壳中的含量第一。

铝是化学性质很活泼的元素, 在自然界中只以化合物状态存在。自然界中含铝矿物达 250 种, 其中主要矿物有铝土矿、霞石、明矾石、高岭土和黏土等。

一、铝矿藏的类型

目前, 铝土矿是当今氧化铝生产工业最主要的矿物资源, 世界上 95% 以上的氧化铝来自铝土矿。

铝土矿中的铝元素是以氧化铝水合物状态存在的。根据氧化铝水合物所含结晶水数目的不同以及晶型结构的不同, 可把铝土矿分为三水铝石型、一水软铝石型、一水硬铝石型和混合型四类矿种。采用不同类型的铝土矿做原料, 则氧化铝生产工艺的选择和技术条件的控制是不同的, 所以对铝土矿的类型进行鉴定有着重大意义。

近年发现部分地区煤炭中含有大量的氧化铝, 煤炭经发电后产生的粉煤灰中氧化铝含量达到 50% 左右, 具有较高的提取价值。从粉煤灰中提取氧化铝采用的方法有氨法、粉煤灰预脱硅-碱石灰烧结法、酸法等。

二、铝土矿的质量标准

铝土矿的质量会直接影响氧化铝生产技术条件的控制、设备产能、能耗及产品质量等各个方面。判断铝土矿质量的指标主要有氧化铝含量、氧化硅含量和铝土矿的类型三项。

(1) 氧化铝含量。氧化铝在铝土矿中的含量越高，铝土矿中的杂质就越少，设备产能、能耗、产品质量等指标就越好。

(2) 氧化硅含量。铝土矿中最主要的杂质是氧化铁和氧化硅。在碱法生产氧化铝工艺中，氧化铁含量不溶于碱性溶液，会直接进入渣中排掉。二氧化硅为酸性氧化物，会溶解进入碱液中，但随后会以不溶性物质含水铝硅酸钠形式析出，造成氧化钠和氧化铝的损失。因此，氧化硅是碱法生产氧化铝主要的有害杂质。铝土矿表示氧化硅含量的指标是铝硅比，即矿中所含的氧化铝与氧化硅的质量之比，通常这一比值越高，铝土矿质量越好。

(3) 铝土矿的类型。不同类型的铝土矿因为在拜耳法生产氧化铝时氧化铝溶出的难易程度不同，所采取的工艺技术条件也不相同。三水铝石型矿最易溶出，一水软铝石型矿次之，一水硬铝石型矿最难溶出。所以，铝土矿的类型对采用拜耳法工艺生产氧化铝影响重大。

三、高铝粉煤灰的质量

高铝粉煤灰中氧化铝含量为 50% 左右，二氧化硅含量为 40% ~ 50%，其铝硅比大致为 1，铝硅比过低，所以要对高铝粉煤灰进行预脱硅后再烧结、溶出。

任务三 氧化铝的生产方法

氧化铝是一种两性化合物，可以用碱或酸从铝土矿中把氧化铝与其他杂质分离出来而得到纯净的氧化铝，生产方法可分为酸法、碱法、酸-碱联合法。本书主要介绍碱法生产氧化铝。

碱法生产氧化铝的一般工艺原理为，通过加入氢氧化钠或碳酸钠来处理采选后的铝矿，得到铝酸钠溶液，铝酸钠溶液经过净化处理后，用降温或碳化方法进行强制分解得到氢氧化铝，然后经过焙烧脱水得到产品氧化铝。

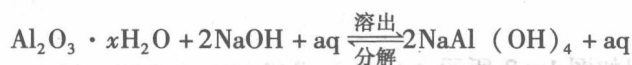
碱法生产氧化铝的工艺又分为拜耳法、烧结法、拜耳-烧结联合法。下面对碱法生产氧化铝的原理及工艺进行介绍。

一、拜耳法生产氧化铝

(一) 生产原理

拜耳法工艺流程生产氧化铝采用高铝硅比铝土矿作为原材料。在高温高压下，用氢氧化钠溶液溶出铝土矿中的氧化铝，得到铝酸钠溶液，而矿中的杂质则生成不溶性化合物进入赤泥中；铝酸钠溶液在净化后，加入氢氧化铝晶种进行分解，得到氢氧化铝晶体，然后经焙烧脱水得到氧化铝产品。即一个完整的拜耳循环为溶出、稀释、分解、蒸发。

生产原理如下：



化学反应在不同的条件下正反应方向和逆反应方向交替进行。当反应向右进行时，属于高压溶出过程， $x=1$ 或 3，生成铝酸钠溶液，Fe、Si 进入赤泥中；反应向左进行时，属于铝酸钠溶液分解过程， $x=3$ ，生成氢氧化铝沉淀和氢氧化钠溶液。理论上讲，生产过程中不消耗苛性碱。

(二) 生产工艺流程图

拜耳法生产工艺流程如图 1-1 所示。

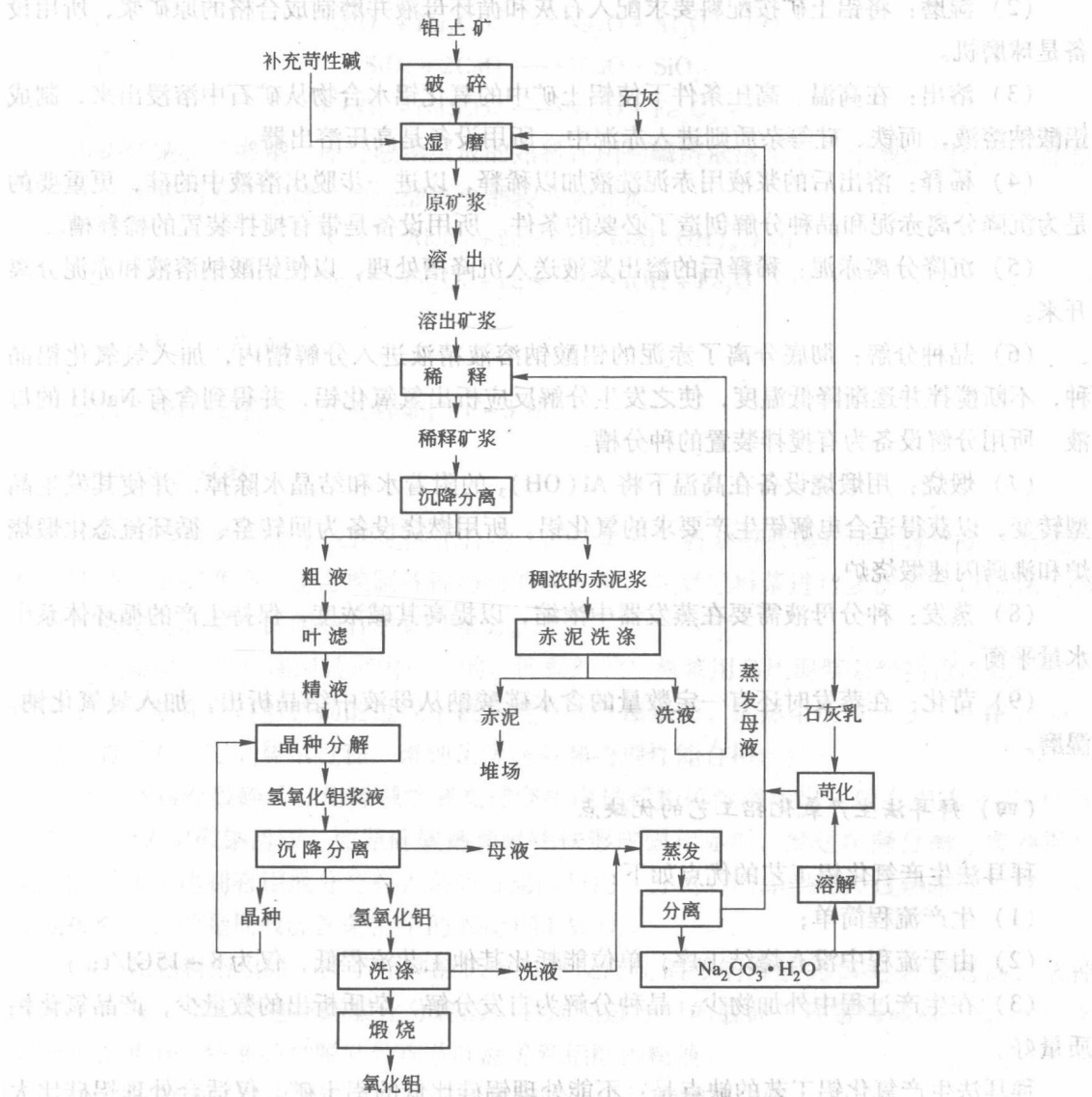


图 1-1 拜耳法生产工艺流程图

(三) 生产过程

拜耳法生产过程如图 1-2 所示。



图 1-2 拜耳法生产过程

(1) 破碎：通常分为粗碎、中碎、细碎三段。所用设备有颚式破碎机、圆锥破碎机、辊式破碎机和冲击式破碎机。

(2) 湿磨：将铝土矿按配料要求配入石灰和循环母液并磨制成合格的原矿浆，所用设备是球磨机。

(3) 溶出：在高温、高压条件下使铝土矿中的氧化铝水合物从矿石中溶浸出来，制成铝酸钠溶液，而铁、硅等杂质则进入赤泥中。所用设备是高压溶出器。

(4) 稀释：溶出后的浆液用赤泥洗液加以稀释，以进一步脱出溶液中的硅，更重要的是为沉降分离赤泥和晶种分解创造了必要的条件。所用设备是带有搅拌装置的稀释槽。

(5) 沉降分离赤泥：稀释后的溶出浆液送入沉降槽处理，以便铝酸钠溶液和赤泥分离开来。

(6) 晶种分解：彻底分离了赤泥的铝酸钠溶液精液进入分解槽内，加入氢氧化铝晶种，不断搅拌并逐渐降低温度，使之发生分解反应析出氢氧化铝，并得到含有 NaOH 的母液。所用分解设备为有搅拌装置的种分槽。

(7) 煅烧：用煅烧设备在高温下将 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的附着水和结晶水除掉，并使其发生晶型转变，以获得适合电解铝生产要求的氧化铝。所用燃烧设备为回转窑、循环流态化煅烧炉和沸腾闪速煅烧炉。

(8) 蒸发：种分母液需要在蒸发器中浓缩，以提高其碱浓度，保持生产的循环体系中水量平衡。

(9) 苛化：在蒸发时还有一定数量的含水碳酸钠从母液中结晶析出，加入氢氧化钠，湿磨。

(四) 拜耳法生产氧化铝工艺的优缺点

拜耳法生产氧化铝工艺的优点如下：

- (1) 生产流程简单；
- (2) 由于流程中没有烧结工序，单位能耗比其他工艺流程低，仅为 $8 \sim 15 \text{ GJ/t}$ ；
- (3) 在生产过程中外加物少，晶种分解为自发分解，杂质析出的数量少，产品氧化铝质量好。

拜耳法生产氧化铝工艺的缺点是：不能处理铝硅比低的铝土矿，仅适合处理铝硅比大于 7 的铝土矿，尤其是铝硅比大于 10 的铝土矿。