



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13-5” GUIHUA JIAOCAI

现代冶金工艺学

——有色金属冶金卷

主编 王兆文 谢锋



冶金工业出版社
www.cnmip.com.cn

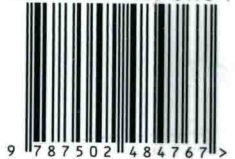


Metallurgical Industry Press
冶金工业出版社



扫码体验更多
冶金工业出版社精彩阅读

ISBN 978-7-5024-8476-7



9 787502 484767 >

定价68.00元
销售分类建议: 冶金工程



普通高等教育“十三五”规划教材

现代冶金工艺学

——有色金属冶金卷

主编 王兆文 谢锋

北京

冶金工业出版社

2020

内 容 提 要

本书主要介绍了铝、镁、铜、铅、锌、钛、稀土和贵金属等典型有色金属冶金的基本原理与工艺流程。全书共9章,主要包括氧化铝、铝电解、镁冶金、铜冶金、锌冶金、铅冶金、贵金属冶金、稀土冶金和钛冶金等内容,各章均按照金属提取或制备过程的特点,着重介绍了提取工艺的发展历史、基本化学原理、主要工艺流程和设备及原材料特点等内容,力图通过详细的原理及工艺介绍使读者了解和掌握有色金属冶金的基础知识。

本书涵盖了轻、重、稀、贵等多种有色金属提取冶金原理与工艺,具有较强的专业性和实用性。

本书可作为高校冶金工程及相关专业教材,也可供有关研究人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代冶金工艺学·有色金属冶金卷/王兆文,谢锋主编. —北京:冶金工业出版社,2020.5

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-8476-7

I. ①现… II. ①王… ②谢… III. ①有色金属冶金—高等学校—教材 IV. ①TF

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第039169号

出版人 陈玉千

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 杜婷婷 刘林焯 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 郑 娟 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-8476-7

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2020年5月第1版,2020年5月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;31印张;750千字;481页

68.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

本书编委会

主 编 王兆文 谢 锋

编 委 (按姓氏笔画排序)

于海燕 王 伟 王耀武 边 雪

孙树臣 张 力 畅永锋 金哲男

涂赣峰 符 岩 路殿坤 潘晓林

前 言

“十三五”以来，我国高等教育学科建设与教材建设的改革不断深入。冶金学科人才培养面临着国际化、信息化和专业化等多种需求的挑战，课程改革与教材改革已成为冶金工程专业本科生教学的必然选择。为了进一步深化有色金属冶金专业方向教学改革，优化课程体系，推进专业课程的教学实施，作者结合多年的教学实践，在2001年出版的《冶金学（有色金属冶金部分）》教材的基础上，重新编写了本书。

本书以东北大学有色金属冶金专业方向教学体系为基础，根据有色金属冶金工艺的特点，选择了铝、镁、铜、铅、锌、钛、稀土和贵金属等代表性金属的冶金工艺流程，以满足冶金工程本科生培养的需要。本书的主要特点是注重基本概念、基本理论和基本工艺方法，对相关金属主要提取工艺流程进行了针对性介绍，同时加入了冶金工业环境保护、节能降耗和信息化等方面的内容。

本书共9章，由东北大学有色冶金专业方向的部分教师编写，具体编写分工为：第1章由潘晓林、于海燕编写；第2章由王兆文编写；第3章由王耀武编写；第4章由金哲男编写；第5章由路殿坤编写；第6章由畅永锋编写；第7章由谢锋、王伟、符岩编写；第8章由边雪、孙树臣编写；第9章由张力、涂赣峰编写。全书由王兆文、谢锋统稿。

在编写过程中，编者参阅并引用了国内外有关文献，吸收和借鉴了一些教材的精华，在此向有关作者表示衷心的感谢。本书的出版和有关研究得到了国家自然科学基金（51434001、U1702252）的支持，在此表示感谢。

由于编者水平所限，书中不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者
2020年2月

目 录

1 氧化铝生产	1
1.1 概述	1
1.1.1 世界氧化铝工业的发展	1
1.1.2 我国氧化铝工业的发展	1
1.1.3 氧化铝生产基本方法	3
1.2 铝土矿	5
1.2.1 铝土矿化学组成及矿物组成	5
1.2.2 铝土矿结构特点	7
1.2.3 铝土矿资源分布	7
1.2.4 非传统铝资源	9
1.3 铝酸钠溶液	9
1.3.1 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ 系平衡状态图	9
1.3.2 铝酸钠溶液稳定性	14
1.3.3 铝酸钠溶液物理化学性质	14
1.3.4 铝酸钠溶液结构	18
1.4 拜耳法原理与工艺	18
1.4.1 拜耳法原理	18
1.4.2 原矿浆制备	20
1.4.3 预脱硅	20
1.4.4 矿石溶出	22
1.4.5 赤泥分离洗涤	28
1.4.6 晶种分解	31
1.4.7 氢氧化铝焙烧	39
1.4.8 分解母液蒸发和一水碳酸钠苛化	42
1.5 烧结法原理与工艺	47
1.5.1 烧结法原理	47
1.5.2 生料配方与熟料烧结	47
1.5.3 熟料浸出及赤泥分离	49
1.5.4 铝酸钠溶液脱硅	51
1.5.5 碳酸化分解	51
1.6 其他生产工艺	54
1.6.1 改良拜耳法	54

1.6.2	联合法	55
1.6.3	高压水化学法	58
1.6.4	酸法	60
	思考题	61
	参考文献	61
2	铝电解	62
2.1	铝电解概述	62
2.1.1	铝电解原料	62
2.1.2	铝电解材料	63
2.1.3	铝电解工艺流程	66
2.2	铝电解质	67
2.2.1	NaF-AlF ₃ 二元系	67
2.2.2	Na ₃ AlF ₆ -Al ₂ O ₃ 二元系与 Na ₃ AlF ₆ -AlF ₃ -Al ₂ O ₃ 三元系	68
2.2.3	铝电解质的物理化学性质	69
2.2.4	氧化铝的溶解	71
2.2.5	铝电解质结构	72
2.2.6	工业电解质与添加剂	73
2.3	铝电解反应	74
2.3.1	铝电解反应及电极反应	74
2.3.2	分解电压	75
2.3.3	铝电解副反应	76
2.3.4	炭阳极上 CO ₂ 生成反应机理	77
2.3.5	阳极效应	77
2.3.6	铝的溶解	78
2.4	铝电解槽	79
2.4.1	铝电解槽的上部结构	80
2.4.2	铝电解槽的下部结构	81
2.4.3	铝电解槽系列	81
2.5	铝电解电流效率	82
2.5.1	铝的电化当量	82
2.5.2	电流效率的测量与计算	83
2.5.3	电流效率降低的原因	86
2.5.4	影响电流效率的因素	86
2.6	铝电解节能	87
2.6.1	平均电压	87
2.6.2	铝电解电能效率	88
2.6.3	铝电解节能	89
2.6.4	铝电解余热回收利用	90
2.7	铝精炼与废铝回收	90

2.7.1	原铝的净化	92
2.7.2	三层液电解法制取精铝	92
2.7.3	偏析法制取精铝	95
2.7.4	区域熔炼法制取高纯铝	95
2.7.5	低温熔盐电解法制取高纯铝	96
2.7.6	高纯铝的鉴定	97
2.8	铝电解环境保护	98
2.8.1	概述	98
2.8.2	铝电解烟气治理	98
2.8.3	铝电解废旧阴极炭块	101
2.8.4	其他固体废弃物	104
2.9	现代信息技术在铝电解领域的应用	104
2.9.1	概述	104
2.9.2	铝电解槽物理场仿真技术	104
2.9.3	铝电解槽控制技术	108
	思考题	112
	参考文献	113
3	镁冶金	114
3.1	概述	114
3.1.1	金属镁的性质	114
3.1.2	金属镁的应用	115
3.1.3	镁资源	116
3.1.4	镁的冶炼历史与现状	118
3.2	皮江法炼镁	120
3.2.1	皮江法炼镁的原理	120
3.2.2	皮江法炼镁的原料	122
3.2.3	皮江法炼镁的能量	124
3.2.4	白云石的煅烧	125
3.2.5	物料还原	128
3.2.6	皮江法存在的主要问题与发展方向	132
3.3	其他热还原炼镁方法	132
3.3.1	玛格尼法炼镁技术	132
3.3.2	博尔扎诺法 (The Bolzano Process)	134
3.3.3	碳热还原法	134
3.3.4	碳化物热还原法制镁工艺	135
3.3.5	铝热法还原炼镁	135
3.4	电解法炼镁	136
3.4.1	电解原料制备	137
3.4.2	电解质的组成与性质	144

3.4.3	镁电解槽结构	149
3.4.4	镁电解过程中的杂质行为	153
3.4.5	镁电解的电流效率	155
3.5	皮江法与电解法的对比	158
3.6	粗镁精炼与高纯镁的生产	158
3.6.1	镁的精炼方法	158
3.6.2	粗镁的熔剂精炼	159
3.6.3	升华法生产高纯镁	161
	思考题	161
	参考文献	162
4	铜冶金	163
4.1	绪言	163
4.2	铜及其化合物的主要性质及应用	163
4.2.1	铜的物理性质	163
4.2.2	铜的化学性质	164
4.2.3	铜的合金	165
4.2.4	铜的主要化合物及其性质	165
4.2.5	铜的应用	167
4.3	铜生产原料	167
4.3.1	铜矿资源	167
4.3.2	再生铜资源	170
4.4	铜的提取方法	170
4.5	铜的熔炼工艺	172
4.5.1	造锍熔炼的理论基础	172
4.5.2	熔炼产物	177
4.5.3	造锍熔炼工艺方法及主要装置	183
4.6	铜锍的吹炼	196
4.6.1	铜锍吹炼的基本原理	196
4.6.2	铜锍吹炼工艺	198
4.6.3	铜锍吹炼产物	199
4.6.4	铜锍吹炼的其他方法	200
4.7	粗铜火法精炼	202
4.7.1	粗铜火法精炼的基本原理	203
4.7.2	粗铜火法精炼工艺	205
4.7.3	粗铜火法精炼产物	207
4.8	铜的电解精炼	208
4.8.1	铜电解精炼的基本原理	208
4.8.2	铜电解精炼工艺	211
4.8.3	铜电解液的净化	213

4.9 铜的湿法冶金	214
4.9.1 湿法炼铜技术的发展历史和现状	214
4.9.2 湿法炼铜技术的原理	214
4.9.3 湿法炼铜的实践	217
4.10 铜冶炼的三废治理	220
4.10.1 烟气的来源与治理	220
4.10.2 污水的来源与治理	222
4.10.3 废渣的来源与治理	223
4.11 铜冶炼新工艺展望	224
4.11.1 火法工艺	224
4.11.2 湿法工艺	225
思考题	226
参考文献	227
5 锌冶金	228
5.1 概述	228
5.1.1 锌的性质与用途	228
5.1.2 全球锌的资源储量与开采情况	229
5.1.3 主要锌资源种类、开采富集与冶炼生产方法	231
5.2 硫化锌精矿的焙烧	232
5.2.1 硫化锌精矿焙烧的热力学基础	232
5.2.2 硫化锌精矿焙烧的动力学基础	237
5.2.3 硫化锌精矿沸腾焙烧的工程学基础	238
5.2.4 硫化锌精矿沸腾焙烧	239
5.2.5 思考题	242
5.3 焙砂中锌的浸出提取	243
5.3.1 焙砂中性浸出的热力学基础	243
5.3.2 焙砂中性浸出的实践	246
5.3.3 中性浸出渣的热酸浸出与铁的沉淀分离	248
5.3.4 中性浸出渣的火法处理	254
5.3.5 思考题	256
5.4 中性浸出液的净化	256
5.4.1 中性浸出液净化的目的、要求与净化方法	257
5.4.2 锌粉置换脱除 Cu、Cd、Co、Ni 的原理	258
5.4.3 锌粉置换净化的影响因素	260
5.4.4 锌粉置换净化工艺及其操作步骤	261
5.4.5 锌粉置换作业设备与过程分析控制	261
5.4.6 其他净化除杂方法与净化过程	263
5.4.7 净化主要技术经济指标	264
5.4.8 思考题	264

5.5 电解沉积	264
5.5.1 锌电解沉积的基本原理	265
5.5.2 锌电解沉积的槽电压及其影响因素	269
5.5.3 电流效率及其影响因素	271
5.5.4 电沉积杂质行为、添加剂作用及阴极锌质量控制	273
5.5.5 锌电解车间的主要设备	278
5.5.6 锌电解沉积作业的操作与控制	281
5.5.7 锌电解主要操作参数与技术经济指标	283
5.5.8 思考题	284
5.6 阴极锌的熔铸	284
5.6.1 阴极锌熔铸过程与设备选择	284
5.6.2 阴极锌熔铸设备及其工作原理	284
5.6.3 阴极锌熔铸作业及主要技术经济指标	285
5.7 高温热还原法炼锌	286
5.7.1 碳热还原法炼锌的基本原理	286
5.7.2 ISP 密闭鼓风炉炼锌	290
5.7.3 竖罐炼锌	297
5.7.4 电炉炼锌	298
5.7.5 粗锌火法精炼	298
思考题	304
参考文献	305
6 铅冶金	306
6.1 概述	306
6.1.1 铅的主要性质及应用	306
6.1.2 铅的资源	308
6.1.3 铅的提取方法概述	310
6.2 硫化铅精矿的火法冶炼基本原理	313
6.2.1 硫化铅精矿氧化过程原理	313
6.2.2 铅还原熔炼过程原理	320
6.3 硫化铅精矿的烧结焙烧—鼓风炉还原熔炼工艺	326
6.3.1 硫化铅精矿的烧结焙烧	326
6.3.2 烧结块的鼓风炉还原熔炼	329
6.4 铅的直接熔炼工艺	331
6.4.1 硫化铅精矿的直接熔炼概述	331
6.4.2 基夫赛特直接炼铅 (Kivcet) 法	334
6.4.3 QSL 直接炼铅法	338
6.4.4 富氧底吹炼铅法	341
6.4.5 富氧侧吹炼铅法	344
6.4.6 Ausmelt/Isa 顶吹直接炼铅法	348

6.4.7	Kaldo 直接炼铅法	349
6.5	粗铅的精炼	351
6.5.1	粗铅精炼概述	351
6.5.2	粗铅的火法精炼	352
6.5.3	粗铅的电解精炼	357
6.6	再生铅的处理	359
6.6.1	再生铅处理概述	359
6.6.2	以废铅酸蓄电池为代表再生铅冶炼工艺	360
6.7	铅的湿法冶金	361
6.7.1	铅的湿法冶金概述	361
6.7.2	祥云飞龙湿法炼铅工艺	363
	思考题	366
	参考文献	366
7	贵金属冶金	369
7.1	金银冶金	369
7.1.1	概述	369
7.1.2	氰化提金工艺	372
7.1.3	难处理金矿石	387
7.1.4	非氰提金技术	391
7.1.5	从阳极泥中回收贵金属	396
7.2	铂族金属提取冶金	401
7.2.1	铂族金属性质和用途	401
7.2.2	铂族金属矿物和矿石	401
7.2.3	铂族金属矿物处理	402
7.2.4	铂族金属的分离	404
	思考题	408
	参考文献	408
8	稀土冶金	409
8.1	绪论	409
8.1.1	稀土元素的性质	410
8.1.2	稀土元素的主要化合物	412
8.1.3	稀土元素的应用	414
8.1.4	稀土资源	417
8.2	稀土矿物及其精矿处理方法	418
8.2.1	稀土矿精矿分解概述	418
8.2.2	氟碳铈矿-独居石混合型稀土精矿的分解	419
8.2.3	氟碳铈矿的分解	425
8.2.4	从风化壳淋积型稀土矿物中回收稀土元素	428

8.3 溶剂萃取法分离稀土	431
8.3.1 分馏串级萃取工艺	433
8.3.2 酸性络合萃取体系分离稀土元素	441
8.4 稀土金属及其合金的制取	450
8.4.1 稀土氧化物熔盐电解制取稀土金属	450
8.4.2 金属热还原法制取稀土金属	454
思考题	457
参考文献	457
9 钛冶金	462
9.1 概述	462
9.1.1 钛冶金简史	462
9.1.2 钛的性质	462
9.1.3 钛的用途	463
9.1.4 钛矿物	463
9.1.5 处理钛精矿的原则流程	464
9.2 钛铁矿精矿的还原熔炼	466
9.3 从钛铁矿精矿生产人造金红石	468
9.4 四氯化钛的生产	468
9.4.1 氯化反应的物理化学基础	468
9.4.2 影响氯化速度的因素	469
9.4.3 钛渣的沸腾氯化	470
9.4.4 熔盐氯化	471
9.5 粗四氯化钛的精制	473
9.5.1 粗四氯化钛中的杂质及除杂方法	473
9.5.2 除钒	473
9.5.3 精馏法净化	474
9.6 镁热还原法生产海绵钛	475
9.6.1 还原过程基本原理	475
9.6.2 还原设备及还原作业	475
9.6.3 还原产物的真空蒸馏和海绵钛砵的处理	476
9.6.4 镁还原法的主要技术经济指标	478
9.7 钠热还原法生产金属钛	478
9.7.1 基本原理	478
9.7.2 工业实践	479
9.8 钛的精炼	480
9.8.1 电解精炼	480
9.8.2 碘化法精炼	480
思考题	481
参考文献	481

1

氧化铝生产

1.1 概述

冰晶石—氧化铝熔盐电解法是目前工业生产金属铝的唯一方法。铝产业链主要由铝土矿开采、氧化铝生产、铝电解和铝加工这四个环节构成，从上游的铝土矿开采开始，中游将铝土矿生产氧化铝再熔盐电解生产铝，下游将电解铝进行加工处理为各种铝材，最终应用于建筑、交通、电力等诸多领域。氧化铝是熔盐电解铝最为重要的原材料，世界上90%以上的氧化铝被用于电解铝生产中。每生产1吨原铝消耗近2吨氧化铝，这些氧化铝需要用4吨左右铝土矿生产。因此，随着原铝需求的迅速增长，氧化铝产业也迅速发展起来。

1.1.1 世界氧化铝工业的发展

世界上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，世界氧化铝工业发展迅速，氧化铝产量从2004年的6186.6万吨增长至2018年的1.2亿吨。目前我国的氧化铝年产量已经超过了全球氧化铝年产量的50%，其他氧化铝生产国主要为澳大利亚、巴西、印度、俄罗斯等。

此外，除了电解炼铝以外使用的氧化铝称之为非冶金级氧化铝、化学品氧化铝或多品种氧化铝。世界上非冶金级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得到了广泛的应用。1989年世界非冶金级氧化铝产量为315万吨，2010年为599万吨，2018年达到853万吨。目前非冶金级氧化铝品种有300之多。

1.1.2 我国氧化铝工业的发展

新中国成立以来，我国氧化铝工业从无到有，从小到大，先后建立了山东、郑州、贵州三个氧化铝厂。特别是在1992年国家优先发展铝方针的指导下，陆续建成了山西、中州、平果等重点氧化铝企业，我国原有六大氧化铝基地已初步形成。2003年时六大氧化铝基地的基本状况见表1-1。

表 1-1 我国原六大氧化铝厂主要情况 (2003年)

企业	生产方法	投产时间	产量/万吨	碱耗/kg·(t-Al ₂ O ₃) ⁻¹	综合能耗/GJ·(t-Al ₂ O ₃) ⁻¹
山东铝厂	烧结法为主	1954年	95.0	81.2	36.66
郑州铝厂	混联法	1965年	137.5	63.0	29.38
贵州铝厂	混联法	1978年	75.2	68.1	38.16
山西铝厂	混联法	1987年	141.6	58.2	33.72

续表 1-1

企业	生产方法	投产时间	产量/万吨	碱耗/kg·(t-Al ₂ O ₃) ⁻¹	综合能耗/GJ·(t-Al ₂ O ₃) ⁻¹
中州铝厂	烧结法为主	1992年	85.1	62.3	40.12
平果铝厂	拜耳法	1995年	68.9	64.5	12.61
总计	—	—	603.3	—	—

我国氧化铝工业自 1954 年起始以来,发展迅速,基本以每十年翻一番的速度飞速发展,2004 年产量为 702 万吨,2016 年突破 6000 万吨,2018 年达到了 7200 万吨以上。我国氧化铝产能分布具有资源地导向特征,其产能主要集中在山东、山西、河南、广西、贵州等地,总产量超过全国的 95%。

1.1.2.1 取得的主要技术成就

我国氧化铝工业从 1954 年起始,在 60 余年的时间里,不仅产量大幅增加,在技术方面也取得了卓有成效的进步,其主要技术成就为:

(1) 独创了适合当时我国资源特点的混联法工艺,即用拜耳法处理高品位铝土矿,同时用烧结法处理低品位铝土矿或拜耳法赤泥,取得比单一拜耳法或烧结法更好的经济效益。

(2) 选矿拜耳法技术。通过浮选技术除去高硅铝土矿中的部分硅矿物,使较高品位的选精矿可直接用于传统的拜耳法生产,其关键技术是开发出合适的浮选药剂和浮选流程,以降低氧化铝生产的能耗。

(3) 石灰拜耳法技术。通过添加过量的石灰,使水合铝硅酸钠转化为水化石榴石,关键技术包括碱液化灰、石灰的最佳化添加以及高固含赤泥矿浆的高效分离。石灰拜耳法的主要优势是采用传统的拜耳法技术处理高硅铝土矿,以降低碱耗和能耗。

(4) 拜耳法高效强化技术。此技术通过强化拜耳法循环过程,以降低单位体积的循环母液在整个拜耳法过程中的能耗,通过解决拜耳循环过程的瓶颈环节,以提高拜耳法循环效率,并实现系统节能。通过实施高效强化拜耳法后,其氧化铝生产单位能耗可以从 13GJ/t 降低到 9.6GJ/t,单线产能提高了约 30%。

(5) 熟料烧成强化技术。其中包括生料浆非饱和和配方、石灰配料、生料加煤脱硫技术和熟料窑热工自动控制技术等。

(6) 熟料溶出技术。其中包括低苛性分子比溶出技术和高碳酸钠浓度二段磨溶出技术等。

1.1.2.2 存在的主要问题

尽管我国氧化铝技术发展取得了诸多成就,但仍面临很多问题,具体体现在如下方面:

(1) 自有铝土矿储量和质量逐年降低。我国铝土矿资源的供不应求成为一种不可逆转的发展趋势,自有铝土矿的基础储量和开采品位急剧降低。目前我国北方铝土矿的平均铝硅比已由 2003 年的 8.5 降低到目前的 4.0 以下。此外,我国还有大量的高硫铝土矿和铁铝共生矿没有得到有效利用。

(2) 国外铝土矿进口量居高不下。为了适应我国氧化铝产量发展的新特点,我国铝土矿进口量多年来持续高歌猛进,对外依存度连续高达 50% 以上。

(3) 难于加工处理。我国一水硬铝石型铝土矿的理化特性,决定了其难于加工处理。氧化铝溶出技术必须采用高温高碱条件,既提高了生产能耗和投资成本,又加大了单系列生产规模大型化的难度。目前,国外氧化铝单系列生产规模已达到1500kt/年,而国内仅达到1000kt/年。

(4) 综合能耗高。国外氧化铝企业处理三水铝石型铝土矿的综合能耗一般在7.0~8.0GJ/t- Al_2O_3 ;而国内氧化铝企业由于处理一水硬铝石型铝土矿的先天劣势,综合能耗一般在8.0~9.5GJ/t- Al_2O_3 。

(5) 自动化程度低。由于氧化铝生产工艺过程复杂多变,存在高温、高压、强碱等极端环境条件,使计算机在线检测和自动控制的应用遇到很大的困难。利用新型智能化产品及自动化、信息化技术进行生产工艺和生产设备的自动控制和实时监测,是氧化铝行业的一项长期任务,最终实现高效、优质、节能、低耗的目标。

(6) 赤泥堆存量,综合利用率低。我国赤泥堆存量每年已超过1亿吨,累计堆存量已达到6亿吨以上,而目前我国赤泥的综合利用率只有4%,与发达国家相差甚远。

尽管近年来我国发展了大型管道化加热停留罐溶出拜耳法技术和大型全管道化溶出拜耳法技术等大型化技术,但从综合技术经济指标和长期运行结果看,我国氧化铝技术仍然在一些方面落后于国外先进的技术水平。同时,我国氧化铝企业在健康、安全、环保等方面,与国外氧化铝企业还存在一定的差距。

1.1.3 氧化铝生产基本方法

氧化铝生产方法大致可分为四类,即碱法、酸法、酸碱联合法和热法。但目前用于工业生产氧化铝的方法几乎全属于碱法。

1.1.3.1 碱法

碱法生产氧化铝的基本过程如图1-1所示。其基本原理为:用碱(NaOH 或 Na_2CO_3)来处理铝土矿,使矿石中的氧化铝转变成铝酸钠溶液;矿石中的铁、钛、硅等杂质成为不溶解的化合物,将不溶解的残渣与溶液分离;纯净的铝酸钠溶液分解析出氢氧化铝,经与母液分离、洗涤后进行焙烧,得到氧化铝产品;分解母液循环使用,处理下一批矿石。



图 1-1 碱法生产氧化铝基本过程

碱法生产氧化铝又分为拜耳法、烧结法和拜耳—烧结联合法等多种流程。

A 拜耳法

拜耳法是K·J·Bayer于1889~1892年提出的,故称之为拜耳法,它适于处理低硅铝土矿,尤其是在处理三水铝石型铝土矿时具有突出优势。目前,全世界生产的氧化铝和氢氧化铝,有90%以上是采用拜耳法生产的。拜耳法的特点是:适合处理高铝硅比(铝硅比