

· 高职高专“十二五”规划教材 ·



铝冶金生产操作与控制

LÜYEJIN SHENGCHAN CAOZUO YU KONGZHI

主 编 王红伟 马科友



冶 金 工 业 出 版 社
Metallurgical Industry Press

高职高专“十二五”规划教材

铝冶金生产操作与控制

主 编	王红伟	马科友			
副主编	邢相栋	杜新玲	封同会	张学英	
参 编	秦凤婷	卢 鑫	薛祎姝	徐素鹏	

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2013

内 容 提 要

本书根据目前我国氧化铝生产为拜耳法、烧结法、联合法并存的现状,以拜耳法生产氧化铝为主,兼顾烧结法和联合法生产氧化铝的基本理论和工艺,电解铝则以大型预焙槽生产电解铝为重点;主要叙述了铝土矿资源状况,氧化铝和铝的性质及用途,拜耳法和烧结法生产氧化铝、大型预焙槽生产电解铝、电解铝烟气净化及原料输送和铝锭铸造的基本原理、工艺流程、生产设备、主要操作、常见故障处理与技术条件控制。

本书理论与实践结合紧密,内容丰富,编写简明,注重应用,可作为高职高专院校冶金技术专业的教学用书,也可作为铝冶金企业相关技术人员职业资格和岗位技能培训的教材,还可供铝冶金行业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铝冶金生产操作与控制/王红伟,马科友主编. —北京:
冶金工业出版社, 2013. 5
高职高专“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5024-6155-3

I. ①铝… II. ①王… ②马… III. ①炼铝—高等
职业教育—教材 IV. ①TF821

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 084554 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 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨 敏 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6155-3

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京印刷一厂印刷

2013 年 5 月第 1 版, 2013 年 5 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 20.75 印张; 502 千字; 320 页

42.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿信箱: 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)

前言

铝是国民经济建设中重要的原材料，铝的产量仅次于钢，居各种有色金属的首位。近年来，国内铝行业高速发展，2011年氧化铝产量约3881万吨，电解铝产量约1806万吨，均居世界第一。为了进一步提高生产效率和产品质量，国内铝冶金生产企业正着力进行技术改造和设备更新，急需大量高技能人才和提高企业员工的整体素质。为了适应铝冶金技术发展的形势，满足高职高专院校培养冶金专业高技能、应用型人才和企业培训技术工人的需要，我们编写了这本教材。

本书根据市场需求和企业职业岗位的知识技能要求，将“氧化铝生产工艺”和“电解铝生产技术”两门传统单独开设课程的内容进行选取与整合，根据铝冶金生产工艺设置了铝冶金生产认知、拜耳法生产氧化铝、烧结法生产氧化铝、联合法生产氧化铝、大型预焙槽炼铝、铝电解烟气净化及原料输送、铝锭铸造7个知识模块，每个模块以工艺流程为导向设置若干学习任务，内容设计体现了教学过程与工作过程的一致性。通过本书的学习，学生可以掌握拜耳法、烧结法生产氧化铝和熔盐电解法生产电解铝的基本原理和工艺流程；能正确进行工艺、设备操作及技术条件控制；会分析处理铝冶金生产中常见的故障，为后续完成毕业设计、顺利进行工学结合实习、顶岗实习及快速适应工作岗位奠定坚实的基础。

本书由济源职业技术学院王红伟、马科友担任主编，北京科技大学邢相栋、济源职业技术学院杜新玲、中铝公司抚顺分公司封同会和中铝公司河南分公司张学英担任副主编。编写分工为：王红伟编写模块一，模块二中的任务1~3、任务5和任务7；马科友编写模块五中的任务8~11、模块七；邢相栋编写模块四，模块五中的任务1~4；杜新玲编写模块三；封同会编写模块五中的任务7；张学英编写模块二中的任务9；济源职业技术学院卢鑫编写模块二中的任务4、任务6和任务10，模块六；济源职业技术学院秦凤婷编写模块五中的任务6；中铝公司河南分公司薛祎姝编写模块二中的任务8；济源职业技术

学院徐素鹏编写模块五中的任务5。全书由王红伟、马科友定稿，封同会和张学英审核。

在编写过程中，参考了一些文献，在此向文献作者表示感谢。另外，济源职业技术学院朱博、李丰、常兴光等同学为本书的编写提供了大力帮助，在此一并表示衷心感谢。

限于作者的水平，书中不足之处，敬请各位专家、同行及读者批评指正。

作 者

2013 年 2 月

目 录

模块一 铝冶金生产认知	1
任务一 认识铝土矿	1
单元一 铝的主要矿物	1
单元二 铝土矿的主要化学成分	2
单元三 铝土矿的分类及质量评价	3
单元四 铝土矿资源	4
任务二 铝及氧化铝的性质与用途	5
单元一 铝的性质与用途	5
单元二 氧化铝的性质与用途	6
任务三 铝和氧化铝的生产方法	8
单元一 铝的生产方法	8
单元二 氧化铝的生产方法	10
习题及思考题	14
模块二 拜耳法生产氧化铝	15
任务一 铝酸钠溶液	15
单元一 铝酸钠溶液的重要参数	15
单元二 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ 系平衡状态图	16
单元三 工业铝酸钠溶液的稳定性	19
任务二 拜耳法的基本原理	21
单元一 拜耳法的原理	21
单元二 拜耳法循环	21
单元三 拜耳法循环效率和循环碱量	23
任务三 拜耳法的基本工艺流程及分类	23
单元一 拜耳法的基本工艺流程	24
单元二 拜耳法分类	25
任务四 原矿浆的制备	26
单元一 原矿浆制备的要求	26
单元二 破碎	27
单元三 配矿	27
单元四 拜耳法配料	28
单元五 磨矿	30

单元六 球磨机	34
任务五 铝土矿的拜耳法高压溶出	36
单元一 拜耳法高压溶出的基本原理	37
单元二 影响铝土矿溶出过程的因素	42
单元三 高压溶出工艺	45
单元四 高压溶出器	54
单元五 高压溶出的主要操作及常见故障处理	55
单元六 高压溶出技术指标分析	57
单元七 结疤的生成与防治	60
任务六 赤泥分离与洗涤	61
单元一 拜耳法赤泥分离洗涤的工艺流程	62
单元二 溶出矿浆的稀释	62
单元三 赤泥沉降分离	63
单元四 赤泥反向洗涤	69
单元五 粗液精制	70
单元六 赤泥附液损失及洗涤效率	72
任务七 铝酸钠溶液的晶种分解	73
单元一 晶种分解的主要任务及基本原则	73
单元二 晶种分解的经济技术指标	74
单元三 晶种分解的机理	75
单元四 影响晶种分解的主要因素	77
单元五 晶种分解工艺	79
单元六 铝酸钠溶液分解工序的主要设备	84
单元七 晶种分解的正常操作与常见故障处理	86
单元八 晶种分解设备结疤的清理	90
任务八 氢氧化铝焙烧	90
单元一 氢氧化铝焙烧原理	90
单元二 氧化铝质量指标及影响因素	91
单元三 氧化铝焙烧工艺	92
单元四 气体悬浮焙烧炉的正常操作及事故处理	99
任务九 分解母液的蒸发	102
单元一 蒸发的目的及作用	102
单元二 分解母液中各种杂质在蒸发过程中的行为	103
单元三 蒸发设备	104
单元四 蒸发作业流程	107
单元五 蒸发器组的正常操作及事故处理	110
单元六 蒸发器结垢的清除	115
任务十 一水碳酸钠的苛化	117
单元一 一水碳酸钠苛化的原理	117

单元二 苛化的工艺流程·····	118
单元三 苛化的正常操作及事故处理·····	118
习题及思考题·····	120
模块三 碱-石灰烧结法生产氧化铝 ·····	122
任务一 碱-石灰烧结法的原理·····	122
任务二 碱-石灰烧结法的基本流程·····	123
任务三 生料浆的制备·····	125
单元一 生料浆的配料指标·····	126
单元二 生料浆的配制操作·····	127
单元三 石灰煅烧·····	129
任务四 熟料烧结·····	134
单元一 熟料烧结的主要反应·····	134
单元二 熟料质量评价·····	135
单元三 烧成温度及烧成温度范围·····	136
单元四 生料加煤还原烧结·····	137
单元五 熟料烧结工艺流程·····	139
单元六 熟料烧结的正常操作与常见故障处理·····	140
任务五 熟料溶出·····	144
单元一 熟料溶出过程的基本反应·····	144
单元二 溶出副反应(二次反应)·····	145
单元三 影响溶出过程的因素·····	146
单元四 减少溶出副反应损失的措施·····	147
单元五 熟料溶出工艺过程·····	148
单元六 熟料溶出主要操作及常见故障处理·····	149
单元七 熟料溶出主要计算及指标分析·····	150
任务六 烧结法赤泥的分离与洗涤·····	152
单元一 烧结法赤泥的分离与洗涤工艺·····	152
单元二 烧结法赤泥的分离与洗涤技术条件控制·····	153
任务七 铝酸钠溶液的脱硅·····	153
单元一 脱硅机理·····	154
单元二 脱硅主要设备·····	155
单元三 脱硅工艺流程·····	156
单元四 连续脱硅正常操作及常见故障处理·····	158
任务八 碳酸化分解·····	160
单元一 碳酸化分解的原理·····	161
单元二 影响碳分过程的主要因素·····	162
单元三 碳分工艺过程·····	166
单元四 连续碳分正常操作与常见故障处理·····	167

习题及思考题	171
模块四 联合法生产氧化铝	173
任务一 并联法生产氧化铝	173
单元一 并联法的工艺流程	173
单元二 并联法的工艺特点	174
任务二 串联法生产氧化铝	175
单元一 串联法的工艺流程	175
单元二 串联法的工艺特点	176
任务三 混联法生产氧化铝	176
单元一 混联法的工艺流程	177
单元二 混联法的工艺特点	177
任务四 联合法工艺流程分析	178
习题及思考题	179
模块五 大型预焙槽生产电解铝	180
任务一 铝电解生产工艺及原材料	180
单元一 铝电解生产工艺流程	180
单元二 铝电解所用原材料	181
任务二 铝电解生产原理	184
单元一 铝电解质的性质	184
单元二 铝电解的电极过程	189
单元三 电解质中氧化铝的分解电压	193
单元四 结壳、炉帮及沉淀	193
任务三 铝电解槽的槽型结构及电解车间配置	196
单元一 铝电解槽的发展	196
单元二 预焙铝电解槽的结构	199
单元三 电解车间配置	207
单元四 未来铝电解槽的改进	208
任务四 铝电解槽焙烧与管理	209
单元一 铝电解槽焙烧方法的选择	209
单元二 焦粒焙烧操作与管理	213
任务五 电解槽启动与管理	218
单元一 电解槽的启动方法	218
单元二 铝电解槽湿法启动	219
单元三 铝电解槽启动的管理	220
任务六 铝电解槽正常生产技术条件与管理	224
单元一 铝电解正常生产的特征	225
单元二 铝电解槽正常生产技术条件与管理	225

单元三 正常生产技术条件的保持·····	233
任务七 铝电解槽的主要操作·····	234
单元一 定时加料(NB)·····	234
单元二 阳极更换(AC)·····	235
单元三 抬母线(RR)·····	240
单元四 熄灭阳极效应(AEB)·····	242
单元五 出铝(TAP)·····	243
单元六 捞炭渣·····	245
单元七 电解技术参数的测量·····	245
单元八 停槽·····	249
任务八 电解槽的病槽及常见事故处理·····	250
单元一 常见电解槽的病槽及处理·····	250
单元二 常见的生产事故及处理·····	257
任务九 铝电解槽的破损与维护·····	261
单元一 铝电解槽的破损·····	261
单元二 破损槽的确认与维护·····	264
任务十 铝电解槽的计算机控制·····	266
单元一 计算机系统的控制形式·····	266
单元二 计算机系统的配置·····	268
单元三 智能槽控机基本功能·····	270
单元四 智能槽控机按键操作·····	271
任务十一 铝电解生产主要经济技术指标分析·····	273
单元一 铝产量与电流效率·····	274
单元二 电能效率·····	279
单元三 原材料消耗·····	282
习题及思考题·····	283
模块六 铝电解烟气净化及原料输送·····	285
任务一 铝电解烟气干法净化·····	285
单元一 电解铝烟气中的污染物及其危害·····	285
单元二 烟气干法净化·····	286
任务二 氧化铝输送·····	293
单元一 氧化铝输送方法·····	293
单元二 氧化铝超浓相输送系统的正常操作及故障处理·····	296
习题及思考题·····	299
模块七 铝锭铸造·····	300
任务一 原铝的配料与净化·····	300
单元一 重熔用铝锭铸造生产工艺流程·····	300

单元二 原铝的配料·····	300
单元三 原铝的净化·····	304
任务二 铝锭铸造·····	310
单元一 混合炉浇铸·····	310
单元二 原铝铸造机械设备·····	315
习题及思考题·····	318
参考文献·····	320

模块一 铝冶金生产认知

任务一 认识铝土矿

学习目标

- 1. 了解铝土矿的主要化学成分及我国铝土矿的资源分布及特点；
- 2. 掌握铝土矿的分类及质量衡量标准。

工作任务

- 1. 识别铝土矿；
- 2. 根据铝土矿化学成分和物相组成分析结果对铝土矿质量进行分析与评价。

单元一 铝的主要矿物

铝在自然界中分布极广，地壳中铝的含量约为 8%，仅次于氧（49.1%）和硅（26%），居第三位。但在金属元素中，铝元素在地壳中的含量为第一，几乎是地壳中全部金属含量的 1/3。

铝的化学性质十分活泼，在自然界中极少发现元素状态的铝。铝矿物绝少以纯的状态形成工业矿床，基本都是与各种脉石矿物共生在一起的。在世界许多地方蕴藏着大量的铝硅酸盐岩石。

自然界中含铝矿物达 250 种，其中约 40% 是各种铝硅酸盐。其中主要矿物有铝土矿、霞石、明矾石、高岭土和黏土等，如表 1-1 所示。

表 1-1 主要含铝矿物

名称与化学式	含量 $w/\%$			密度 $/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	莫氏硬度
	Al_2O_3	SiO_2	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$		
刚玉 Al_2O_3	100	—	—	4.0 ~ 4.1	9
一水软铝石 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	85	—	—	3.01 ~ 3.06	3.5 ~ 4
一水硬铝石 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	85	—	—	3.3 ~ 3.5	6.5 ~ 7
三水铝石 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	65.4	—	—	2.35 ~ 2.42	2.5 ~ 3.5
蓝晶石 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	63.0	37.0	—	3.56 ~ 3.68	4.5 ~ 7
红柱石 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	63.0	37.0	—	3.15	7.5
硅线石 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	63.0	37.0	—	3.23 ~ 3.25	7

续表 1-1

名称与化学式	含量 $w/\%$			密度 $/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	莫氏硬度
	Al_2O_3	SiO_2	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$		
霞石 $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	32.3 ~ 36.0	38.0 ~ 42.3	19.6 ~ 21.0	2.63	5.5 ~ 6
长石 $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	18.4 ~ 19.3	65.5 ~ 69.3	1.0 ~ 11.2	—	—
白云母 $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	38.5	45.2	11.8	—	2
绢云母 $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	38.5	45.2	11.8	—	—
石榴石 $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	23.5	55.0	21.5	2.45 ~ 2.5	5 ~ 6
高岭石 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	39.5	46.4	—	2.58 ~ 2.6	1
明矾石 $(\text{Na}, \text{K})_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{Al}(\text{OH})_3$	37.0	—	11.3	2.60 ~ 2.80	3.5 ~ 4.0
丝钠铝石 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	35.4	—	21.5	—	—

铝土矿是目前氧化铝生产中最主要的矿石资源，世界上 99% 以上的氧化铝是用铝土矿为原料生产的。铝土矿中氧化铝的含量变化很大，低的在 40% 以下，高的可达 70% 以上。与其他有色金属矿石相比，铝土矿是富矿。

铝土矿的外观（颜色、结构）和物理化学性质（相对密度、硬度及可溶性等）变化很大，视其矿物组成和化学成分不同而异，有的铝土矿很坚硬，有的则松软如土。结构有土状、致密状与豆鲕状。铝土矿可以具有从白色到赭色之间的很多颜色，一般含铁高者呈红色，含铁低者呈灰白色、黄褐色及褐色。

单元二 铝土矿的主要化学成分

铝土矿是法国学者贝尔蒂埃于 19 世纪 20 年代发现的，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 ，少量的 CaO 、 MgO 、硫化物，微量的 Ga、V、P、Cr 等。

SiO_2 是利用铝土矿制取氧化铝时最有害的杂质。在碱法生产氧化铝工艺中， SiO_2 与铝酸钠溶液反应生成不溶性的水合铝硅酸钠（生产中称为钠硅渣），导致 Al_2O_3 、 Na_2O 损失。对于管道溶出工艺，钠硅渣的生成还会导致管道结疤，严重影响生产的正常进行。

Fe_2O_3 也是有害的杂质。用碱法加工铝土矿时，由于氧化铁不与碱作用而进入残渣（残渣因之呈红色，故称为赤泥），因而允许铝土矿中有一定量的氧化铁存在。但 Fe_2O_3 含量过高，特别是以针铁矿形式存在时，使赤泥分离洗涤困难。铁的含量越高，赤泥量越大，由赤泥夹带造成的 Al_2O_3 、 Na_2O 损失越大。另外，它还会使物料流量增加。

高压溶出时， TiO_2 能在一水硬铝石表面形成一层结构致密的钛酸钠膜，而阻止铝土矿的进一步溶出。因此， TiO_2 是碱法生产氧化铝的主要有害杂质之一。

硫在生产过程中循环积累，特别是在烧结法中，硫能形成低熔点的化合物硫酸钠，会阻碍烧结过程的继续进行。

存在于铝土矿中的碳酸盐，其中的 CO_2 会使苛性钠碳酸化，使这一部分碱失去作用，而使循环碱量增加，碳酸碱超过一定量时，还会使生产过程复杂化。

镓在铝土矿中含量虽少,但在氧化铝生产过程中会逐渐在分解母液中积累,从而可以有效地回收,成为生产镓的主要来源。

单元三 铝土矿的分类及质量评价

A 铝土矿的分类

铝土矿中的铝元素是以氧化铝水合物状态存在的。根据其氧化铝水合物所含结晶水数目以及晶型结构的不同,把铝土矿分成三水铝石型 $[\text{Al}(\text{OH})_3 \text{ 或 } \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ 、一水软铝石型 $[\gamma - \text{AlO}(\text{OH}) \text{ 或 } \gamma - \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 、一水硬铝石型 $[\alpha - \text{AlO}(\text{OH}) \text{ 或 } \alpha - \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 和混合型四类矿种。采用不同类型的铝土矿作原料,氧化铝生产工艺的选择和技术条件的控制是不同的,所以对铝土矿类型的鉴定有着重大意义。

B 铝土矿的质量评价

铝土矿的质量会影响生产技术条件的控制、设备的产能、能耗及产品质量等各个方面。铝土矿质量的评价指标主要有氧化铝含量、铝土矿的铝硅比和铝土矿的类型三项。

(1) 氧化铝含量。铝土矿中氧化铝含量通常在 45% ~ 75% 之间。铝土矿中氧化铝的含量越高,杂质的含量就越少,设备产能、能耗、产品质量等指标就越好。

(2) 铝土矿的铝硅比。铝硅比是指铝土矿中所含的氧化铝与氧化硅的质量之比,通常以 A/S 表示。

在碱法生产氧化铝工艺中,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的形式析出,造成氧化钠和氧化铝的损失。二氧化硅的含量直接关系到氧化铝的生产成本、原料消耗量、能量消耗量和回收率。因此, A/S 越高,铝土矿质量越好。目前,工业生产氧化铝要求用铝土矿的铝硅比不低于 3.0 ~ 3.5。

(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,则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。因此,铝土矿的类型对采用拜耳法工艺生产氧化铝意义重大,而对采用烧结法工艺生产氧化铝来说则意义不大。

在实际应用中,评价铝土矿质量的指标,对三水铝石型铝土矿而言,主要是其中的有效氧化铝和活性氧化硅的含量。

有效氧化铝是指在一定的溶出条件下能够从矿石中溶出到溶液中的氧化铝量。

活性氧化硅是指在生产过程中能与碱反应而造成 Al_2O_3 和 Na_2O 损失的氧化硅。

例如,一水硬铝石在溶出三水铝石矿的条件下不与碱溶液反应,是无法溶出的,即使它的含量高,也不能计入有效氧化铝的含量。

同样,矿石中以石英形态存在的氧化硅,在此溶出条件下则是不与碱溶液反应的惰性氧化硅,也不计入活性氧化硅之内。

对一水铝石型矿而言,通常是以其中 Al_2O_3 含量和铝硅比来判别其质量。因为在一水

铝石型矿溶出条件下, 铝土矿中 Al_2O_3 可全部看成是有效的, 而 SiO_2 可全部看成是活性的。

单元四 铝土矿资源

A 世界铝土矿资源

世界铝土矿资源丰富, 资源保证程度很高。按世界铝土矿产量 (1.3 ~ 1.5 亿吨/年) 计算, 静态保证年限在 200 年以上。根据美国地质调查局统计的结果, 2005 年世界铝土矿储量约为 250 亿吨, 基础储量约为 320 亿吨。主要分布在南美洲 (33%)、非洲 (27%)、亚洲 (17%)、大洋洲 (13%) 和其他地区 (10%)。几内亚、澳大利亚两国的储量约占世界储量的一半, 南美的巴西、牙买加、圭亚那、苏里南约占世界储量的 1/4。此外, 据近年的报道, 越南和印度也有丰富的铝土矿资源, 越南储量在 40 ~ 50 亿吨, 印度储量为 24 亿吨。

随着金属铝用量的不断扩大, 铝土矿的开采量也不断增加。2007 年, 世界铝土矿的产量约为 19000 万吨。主要的铝土矿生产国有澳大利亚、中国、几内亚、巴西和牙买加等。2007 年, 以上五国的铝土矿产量约占全球产量的 78%。

B 我国铝土矿概况

我国铝土矿资源在 18 个省、自治区、直辖市已查明铝矿产地 205 处, 其中大型产地 72 处 (不包括中国台湾), 根据中国铝土矿地质特征和成矿条件分析预测, 中国铝土矿资源总量可达 50 亿吨以上, 现我国已探明的铝土矿储量约 23 亿吨, 居世界第四位。我国铝土矿资源并不十分丰富, 只占世界储量的 1.5%。世界铝土矿的人均储量为 4000kg, 而我国只有 283kg。按目前氧化铝产量的增长速度和铝土矿开采、利用中的浪费来看, 即使考虑到远景储量, 中国的铝土矿的保证年限也很难达到 50 年。

中国铝土矿资源具有以下几个特点:

(1) 矿石分布比较集中, 有利于开发利用。山西、贵州、河南和广西壮族自治区储量最高, 合计占全国总储量的 85.5%, 这四个地区又有着丰富的煤炭和水电资源, 具有发展铝工业的有利条件。

(2) 铝土矿中矿物种类多、组成复杂, 矿物嵌布粒度较细。其除主要含一水硬铝石外, 还含有高岭石、叶蜡石、伊利石、石英等含硅矿物, 赤铁矿、针铁矿等含铁矿物, 以及金红石、锐钛矿等含钛矿物。一水硬铝石与含硅矿物之间的嵌布关系复杂, 解离困难。一水硬铝石的嵌布粒度一般为 5 ~ 10 μm 。

(3) 一水硬铝石型矿石占绝对优势。已探明的铝土矿储量中, 一水硬铝石型铝土矿储量占全国总储量的 98.46%, 三水铝石型矿石储量只占 1.54%。

一水硬铝石型铝土矿绝大部分具有高铝、高硅、低铁的突出特点, 铝硅比值偏低。据统计, 铝硅比值大于 7 的矿石量占一水硬铝石量的 27.48%; 铝硅比值为 5 ~ 7 的矿石量占 33.99%; 铝硅比值小于 5 的矿石量占 38.53%。

我国铝土矿各省区的铝土矿品位如表 1-2 所示。

表 1-2 我国各省区的铝土矿平均品位

地 区	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)/\%$	$w(\text{SiO}_2)/\%$	$w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/\%$	A/S
山 西	62.35	11.58	5.78	5.38
贵 州	65.75	9.04	5.48	7.27
河 南	65.32	11.78	3.44	5.54
广 西	54.83	6.43	18.92	8.53
山 东	55.53	15.8	8.78	3.61

任务二 铝及氧化铝的性质与用途

学习目标

1. 掌握铝和氧化铝的物理化学性质；
2. 了解氧化铝和电解铝的工业应用。

工作任务

根据铝及氧化铝的物理化学性质分析铝及氧化铝的主要用途。

单元一 铝的性质与用途

A 铝的物理性质

铝是一种轻金属，具有银白色的金属光泽，纯铝质地柔软，有良好的可塑性和延展性，是电和热的优良导体，在工业上被誉为“万能金属”。其化学符号为 Al，原子序数为 13，相对原子质量为 26.98154。其主要物理性质如表 1-3 所示。

表 1-3 铝的主要物理性质

密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	2.7 (20℃), 2.3 (660℃)
熔点/℃	660
沸点/℃	2467
电导率 (20℃) / $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$	$(36 \sim 37) \times 10^{-4}$
电化当量/ $\text{g} \cdot (\text{A} \cdot \text{h})^{-1}$	0.3356

铝的主要特性是轻，密度相当于钢铁的 1/3，某些合金的机械强度甚至超过结构钢。因此铝具有很大的强度质量比。

铝具有良好的防腐蚀性能。在空气中，铝表面可产生一层光滑致密的、如金刚石一样硬的氧化铝薄膜。这是铝的天然保护膜，像玻璃一样透明，紧紧地黏附在铝上。此外，还可采用阳极氧化或电镀的方法，在铝材或铝制品表面涂上色彩鲜艳的氧化膜，使之成为经久耐用而又美观的建筑材料或日用品。

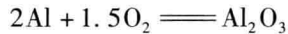
铝易与多种金属组成合金。这些合金既可保持铝的某些特性，又可显著提高其力学

性能。

铝工业现在是世界上最大的电化学工业，铝的产量仅次于钢，居各种有色金属的首位。

B 铝的主要化学性质

(1) 铝同氧反应生成 Al_2O_3 ，即：



$\Delta H_{298}^\ominus = (-1677 \pm 6.2) \text{ kJ/mol}$ ，相当于 31 kJ/g 。生产热很大，这就是铝在自然界中很少以游离状态存在的原因。

铝粉可在空气中燃烧，所以制备铝粉时，宜在缺氧的气氛（ O_2 含量为 4% ~ 6%）中进行，并用硬脂酸（2%）涂在铝的颗粒上。

(2) 铝在高温下能够还原金属氧化物，即：



利用这些反应可制取制备 Mg、Li、Mn、Cr 等纯金属以及各种铝基合金。

(3) 铝具有两性性能，既能与碱反应，又能与酸反应。高纯铝可抵御大多数酸的腐蚀，所以高纯铝制容器可用来储存硝酸、浓硫酸、有机酸和其他化学试剂。但铝易被碱溶液侵蚀，生成铝酸盐。

C 铝的用途

由于铝的卓越性质，使它的应用极为广泛。从 19 世纪末开始，铝成为工程应用中最具竞争力的金属，且风行一时。其主要应用于以下几个方面：

(1) 制造轻型结构材料，如用于汽车制造、国防工业、宇宙、航天工业等。

(2) 制造建筑工业材料，如铝合金型材。

(3) 制造电气工业材料，如电线、电缆、电容器、整流器、母线等。

(4) 制造耐腐蚀材料，如在化学工业上常用铝及其合金制造各种反应器、储槽和管路等。

(5) 做包装材料，如超薄铝箔用于保存食品、药品等。铝的包装可以保温、防冻、容易开启、容易消毒、防水、防蒸气、防光，既能传导热又能辐射热，还可循环再用。

单元二 氧化铝的性质与用途

A 氧化铝的性质

氧化铝是一种白色粉末，熔点为 2050°C ，沸点为 3000°C ，不溶于水而能溶于熔融的冰晶石中。氧化铝属于两性氧化物，既可以与碱作用生成铝酸盐，又可以与酸作用生成该酸的铝盐。铝的氧化物分为无水氧化铝和含水氧化铝两种形态。

无水氧化铝的同质异构体已发现有几种，在氧化铝生产中有重要的是 $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$ 两种。 $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ 属六角晶系，具有完整坚固的晶格，所以它是所有氧化铝同质异构体中化学性质最稳定的一种，在酸或碱液中不溶解。 $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$ 属立方晶系，具有