

世界铝土矿与氧化铝工业 节能综述

György Lang 著
Károly Solymár

郑州铝厂

98

11

世界铝土矿与氧化铝工业 节 能 综 述

G. Lang K. Solymár 著

张 西 平 王 留 柱 译

李 元 杰 刘 家 祐 校

郑 州 铝 厂

一九八六年

内 容 简 介

本书较为详细地介绍了世界各国铝土矿的开采与氧化铝工业的节能情况。书中用大量图、表、公式列举了各先进国家的生产节能实例和若干年后的预测。本书可作为有关厂矿和科研单位的科技人员及院校的教学人员重要的参考资料。

世界铝土矿与氧化铝工业节能综述

〔匈〕G. Lang, K. Solymár 著

张西平 王留柱 译

李元杰 刘家枯 校

责任编辑 祁春韶

中国有色金属工业总公司 出版
《轻 金 属》编辑部

（沈阳市和平大街三段五十号）

沈阳市第十六印刷厂 印刷

本刊代号：8—86 辽宁省期刊登记证第027号

850×1168 1/32 印张 字数65千字

印数0.001—1000册

1986年7月印刷

前 言

“世界铝土矿与氧化铝工业节能综述” (World Review on Energy Conservation in the Bauxite/Alumina Industry) 一书系联合国工发组织举办的铝工业培训班教材。该书由匈牙利铝业公司与匈牙利设计研究中心的G. Long 和 K. Solyman 二位博士所著, 于1983年出版。全书共分十一个方面, 有图六十五幅, 表三十四个。内容涉及到铝土矿及氧化铝生产能源的消耗以及如何来降低生产过程中的能耗, 并提出了一些节能的技术改进措施与发展动向, 今将其译出可供我国铝工业的能源和技术工作者参考之用。

李元杰

1985.12

专用术语和单位

A	传热表面积,	米 ² ;
a	氧化铝的重量分数,	吨/吨;
CA	氧化铝的浓度,	公斤Al ₂ O ₃ /米 ³ ;
CN	苛性碱浓度,	公斤Na ₂ O/米 ³ ;
G	蒸汽的单位质量流量,	吨/吨氧化铝;
H	单位体积热值,	兆焦耳/米 ³ ;
h'	饱和水的热焓,	兆焦耳/吨;
h''	饱和蒸汽的热焓,	兆焦耳/吨;
K	传热系数,	兆焦耳/小时·米 ² ·℃;
M	过程液流的单位质量,	吨/吨;
Q	单位热量,	兆焦耳/吨氧化铝;
q	热容量,	兆焦耳/吨, °C;
r	蒸汽潜热,	兆焦耳/吨;
s	过程液流的熵,	兆焦耳/吨, °K;
T	温度,	℃或°K;
Ti'	液流 i 的输入温度,	℃;
Ti''	液流 i 的排出温度,	℃;
V	单位体积,	米 ³ /吨氧化铝;
W	单位水当量,	兆卡/℃, 吨氧化铝;
w	单位含水量,	吨水/吨;
X	质量或体积分数,	吨/吨或米 ³ /米 ³ ;
η	效率,	%;
φ	传热效率,	%.

單位換算

$$\text{BTU} = 1,055 \text{ 千焦}$$

$$\text{Mcal} = 4,1868 \text{ 兆焦}$$

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times \frac{5}{9}$$

目 录

表.....	1
图.....	3
概述.....	7
引言.....	13
一、世界铝工业的发展前景.....	17
1. 发展速度.....	17
2. 铝工业生产能量需要量.....	21
3. 发展中国家的潜力.....	23
二、世界的铝土矿资源及其利用中能源方面的问题.....	26
1. 世界的铝土矿资源.....	26
2. 铝土矿生产中的能量消耗.....	29
3. 铝土矿矿藏的利用.....	34
三、拜耳法技术发展的主要趋势.....	35
1. 拜耳法的特点.....	35
2. 技术发展的决定因素.....	38
3. 流程的改进, 浓度的最佳化.....	45
4. 管道溶出.....	48
1) 管道溶出技术的发展及其一般特点.....	48
2) 匈牙利管道溶出设备的发展和特点.....	49
3) 从半工业试验中获得的经验.....	50
4) 匈牙利管道溶出系统的建造及其未来的前景.....	54
5. 添加催化剂溶出铝土矿.....	55
1) 催化剂及其作用.....	55

2) 匈牙利氧化铝厂使用催化剂溶出的典型结果·····	56
3) 匈牙利的添加催化剂溶出技术的应用范围·····	59
6. 一水硬铝石型铝土矿的二段溶出·····	64
1) 一水硬铝石型铝土矿的可溶出性·····	64
2) 一水硬铝石型铝土矿的平衡溶解度和二段溶出 技术·····	72
7. 当前分解工艺的趋势·····	76
8. 降低苛性碱损失·····	78
1) 拜耳法生产过程中 NaOH 损失的分布 ·····	78
2) 添加催化剂溶出铝土矿·····	80
3) 苏打在洗涤系统中的苛化·····	82
4) 赤泥的苛化·····	83
5) 综合苛化·····	84
6) 再生NaOH方法的比较·····	88
9. 拜耳法生产过程不同工序的能耗·····	92
四、拜耳法生产过程整个能耗的综述·····	95
五、流程中液流的热性质·····	101
1. 氧化铝在苛性碱溶液中的溶解度·····	101
2. 铝土矿成份的影响·····	102
3. 溶出所需的液量·····	104
4. 铝酸钠溶液的比重和比热·····	106
5. 固体和浆液的计算·····	107
6. 沸点升高·····	108
六、氧化铝厂的热传递·····	109
1. 热交换器的表面积·····	109
2. 自蒸发式热交换器·····	111

3. 多级自蒸发热的回收.....	113
七、溶出、澄清和分解的能量计算.....	116
1. 溶出.....	116
2. 澄清（沉降）.....	120
3. 分解.....	124
八、蒸发.....	128
1. 多效蒸发器.....	128
2. 顺流蒸发器的配置.....	129
3. 逆流蒸发器的配置.....	130
4. 二次蒸汽加热的经济效益.....	131
5. 闪速蒸发器.....	133
6. 蒸汽加压.....	134
7. 蒸发工序的能量计算.....	135
九、焙烧.....	139
1. 氧化铝和水的平衡.....	142
2. 燃烧产生的热量.....	144
3. 关于燃烧的实际计算.....	145
4. 焙烧工序的能量计算.....	152
十、电烧.....	154
十一、电能和热能的综合生产.....	158
参考文献.....	163

表

- 表 1. 1980年世界铝工业生产情况地理性分布
- 表 2. 铝工业产品需要量预测
- 表 3. 世界铝产能及其投资预测
- 表 4. 1982年世界铝产能和产量
- 表 5. 生产 1 吨铝所需要的能量
- 表 6. 铝土矿资源的分类
- 表 7. 按铝土矿资源开发状况而分类的世界铝土矿资源
- 表 8. 产能为 400000 吨/年的具有不同表土体积的露天矿
开采时的单位能耗 (兆焦耳/吨铝土矿)
- 表 9. 产能为 50000 吨/年200米深的地下矿采掘时的单位
能耗 (兆焦耳/吨铝土矿)
- 表10. 具有某些特征的铝土矿的矿物成份
- 表11. 用管道溶出器处理的 Halimba 铝土矿的典型成份
- 表12. 澳大利亚铝土矿的矿物相组成及不用与用水化石榴石
催化剂在 235 ℃下溶出此铝土矿所得赤泥的物相
组成
- 表13. 几内亚铝土矿的矿物相组成及不用与用水化石榴石
催化剂在 235 ℃下溶出此铝土矿所得赤泥的物相
组成
- 表14. 铝土矿矿样的化学成份
- 表15. 不同铝土矿及其典型赤泥的矿物成份
- 表16. 铝土矿及其具有代表性的赤泥的物相成份
- 表17. CA/CN饱和比值

- 表18. 铝土矿的一般成份
- 表19. 赤泥的一般成份
- 表20. 溶出液的单位体积 (米³/吨)
- 表21. 自蒸发的级数和热回收
- 表22. 底流中的固体浓度和溶液体积
- 表23. 蒸发水的单位汽耗量
- 表24. 蒸汽加压的经济效益
- 表25. 焙烧窑的能量平衡
- 表26. 燃烧方程式
- 表27. 气体的量及其成份
- 表28. 氧与空气的需要量和所产生的烟气体积及其成份
- 表29. 不同燃料和过剩空气条件下的烟气成份
- 表30. 不同的过剩空气比 (n) 和燃烧时的单位空气体积 ($V_{\text{空气}}$)
- 表31. 不同的过剩空气比 (n) 和燃烧时的单位湿烟气体积 ($V_{\text{湿烟气}}$)
- 表32. 不同温度下的烟气 ($q_{\text{烟气}}$) 和空气 ($q_{\text{空气}}$) 的单位热含量
- 表33. 各工序及其设备的电能消耗
- 表34. 初始热当量



- 图 1. 2000年世界原铝产量预测
- 图 2. 世界上不同动力的原铝生产能力
- 图 3. 1981年到2000年期间工业发达国家和发展中国家的总能耗和人均能耗
- 图 4. 铝土矿从采掘到氧化铝厂的主要生产步骤
- 图 5. 低温溶出拜耳法流程方框图
- 图 6. 格拉德斯通氧化铝厂平面布置图
- 图 7. 将来世界上铝土矿和氧化铝的产量预测
- 图 8. 世界总产能百分数与单位投资和工厂规模关系
- 图 9. 生产费用和能耗结构图
- 图10. 当处理氧化铝含量为50%的铝土矿时溶出后氧化铝的产出率, 结合成硅的化合物的NaOH的损耗量与铝土矿的单耗和 SiO_2 含量的关系
- 图11. 匈牙利Ajka氧化铝厂 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ 系拜耳法的循环图
- 图12. 匈牙利Ajka 氧化铝厂拜耳循环的I—T图
- 图13. 匈牙利的管道溶出系统
- 图14. 一水软铝石在匈牙利试验性管道溶出器中的动力学性质
- 图15. 各个工作期间内, 匈牙利试验性管道溶出器测得的传热系数同由预热器和高压溶出器组成的最先进的溶出系统的传热系数的比较
- 图16. 匈牙利试验性管道溶出器运行30天后所测得的传热

系数与结疤中 TiO_2 含量之间的关系

图17. 证明酸洗效果的传热系数的变化情况

图18. 匈牙利针铁矿型铝土矿不加与加催化剂的溶出情况

图19. 匈牙利的氧化铝厂采用添加剂技术后铝酸钠溶液中 Fe_2O_3 含量减少的情况

图20. 匈牙利的氧化铝厂添加催化剂溶出而使末级洗涤槽底流固体浓度增加的情况

图21. 匈牙利的氧化铝厂添加催化剂溶出而使末级洗涤槽中游离 Na_2O 含量减少的情况

图22. 不用添加剂与使用催化剂溶出几内亚铝土矿分别获得的赤泥的物相组成的比较

图23. 各种一水硬铝石型铝土矿的可溶性

图24. 各种一水硬铝石型铝土矿的可溶性曲线

图25. 越南Lang Son铝土矿的可溶性曲线

图26. 一水硬铝石型与一水软铝石型铝土矿平衡溶解度的比较

图27. 处理一水硬铝石型和一水软铝石型铝土矿二段溶出的流程图

图28. NaOH 损失及其损失减少的数量比例关系

图29. 加添加剂溶出过程中氧化铝的溶出率、赤泥中结合的 NaOH 和针铁矿-赤铁矿转化效率同赤泥中 CaO 含量的关系

图30. Dorr系统苛化的效率和 Al_2O_3 的损失同苛性碱浓度的关系

图31. 赤泥的苛化效率与处理温度之间的关系

图32. 综合苛化过程中典型物相的变化情况

- 图33. 综合苛化流程图
- 图34. 综合苛化过程中, 赤泥里 $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ 的变化与 CaO 含量的关系
- 图35. 再生 NaOH 用不同方法处理时的 CaO 单耗
- 图36. 中型氧化铝厂主要生产工序的能耗分布
- 图37. 氢氧化铝生产过程的辐射热和废热损失
- 图38. 拜耳法氧化铝厂的能耗
- 图39. 拜耳法循环过程
- 图40. 生产过程的 $T-Q$ 图
- 图41. 热交换器的表面
- 图42. 热传递效率
- 图43. 自蒸发热交换
- 图44. 热传递的 $Q-T$ 图
- 图45. 自蒸发热回收的 Q/T 示意图
- 图46. 溶出流程图
- 图47. $T-Q$ 溶出示意图
- 图48. 沉降—洗涤流程图
- 图49. 分解流程图
- 图50. 顺流蒸发流程图
- 图51. 逆流蒸发流程图
- 图52. 方案 1
- 图53. 方案 2
- 图54. 闪速蒸发器
- 图55. 蒸汽加压型蒸发器
- 图56. 蒸发流程图
- 图57. 焙烧作业流程图

图58. 改进的具有悬浮焙烧炉的回转窑

图59. 流态化闪速焙烧炉

图60. 焙烧流程图

图61. 压差和效率曲线

图62. 压差—产能曲线

图63. 变速驱动的效率

图64. 热电站

图65. 综合生产厂

概 述

0.1 世界铝工业的发展前景

铝工业的典型特点是能耗高，投资大。

在今后的二十年内，铝制品的需要量每年约增加4~5%，即从1980年的1800万吨左右增加到2000年的3800万吨。

铝生产是能耗最大的工艺过程之一，生产1吨铝总共需要200多千兆焦耳的能量。

铝工业今后发展的主要趋势是氧化铝的生产，从发达国家向铝土矿生产国转移，电解铝的生产向能源价格低的地方，特别是向水电资源丰富的地方转移。水电资源主要分布在发展中国家。因此，铝工业已在向发展中国家的有利地方转移。世界范围内铝工业布局的大调整已经开始。“利马能量差额”(Lima enegy gap)的一半(2400Mtoe/年)主要由发展中国家的水电能和生物能来补充是完全适宜的。

0.2 世界的铝土矿资源及其利用中的能源方面的问题

世界的铝土矿资源主要分布在发展中国家，但其处理都集中在发达国家。世界上已勘探的铝土矿床日益增加，并远远超过生产发展的速度。目前世界上已查明的铝土矿贮量估计为500亿吨。

铝土矿在拜耳法回收过程中的价值主要取决于弥补苛性碱损失所需要的费用和每生产1吨氧化铝需要处理干的铝土矿的数量。

世界上百分之九十的铝土矿产于红土地带，绝大多数是三

水铝石型铝土矿，可用效率高的机械实现露天开采，采矿作业的平均能量单耗为 $0.2 \sim 0.5$ 千兆焦耳/吨氧化铝。对于典型的氧化铝厂的能耗 $16 \sim 20$ 千兆焦耳/吨氧化铝来说，这是比较低的。但是铝土矿的能耗要高得多。把铝土矿从澳大利亚运到欧洲的氧化铝厂的能耗和最先进的氧化铝厂的总能耗（约 8 千兆焦耳/吨氧化铝）一样多。因此，要把新的氧化铝厂建在铝土矿产地附近。

0.3 拜耳法技术发展的主要趋势

铝土矿是生产氧化铝的主要原料。到本世纪末，它在氧化铝生产原料需求总量中所占的比例不会低于 $85 \sim 90\%$ 。继续增加设备的单位产能，扩大现有氧化铝厂的产能，建造新的产能大的氧化铝厂仍是发展的主要趋势。生产技术发展的趋势和经济效益将取决于现代化的产能大的氧化铝厂。而产能较小的氧化铝厂只有不断地对工艺实行现代化改进才能和这些厂相竞争。

工艺发展的总趋势是用浓度较高的苛性碱溶液生产砂状氧化铝。

在铝土矿处理过程中，节能的主要途径有：

- 增建或利用更有效的热回收设备来改造现有的氧化铝厂；
 - 把能源供应由价格昂贵的石油或天然气改成用价格低廉的煤；
 - 改进工艺流程以降低能耗；
 - 对过程实行仪表和计算机控制。
- 可用下列的工业技术来节省能量和原料消耗：
- 改进流程用最佳浓度；