

氧化铝生产节能文集

( 三 )

轻金属情报网氧化铝站

一九八三年九月

氧化铝站

PDG

# 录

	页 数
1. 氧化铝生产的节能	1
2. 氧化铝工艺的节能与环境保护	13
3. 改革拜耳法工艺节约能耗	19
4. 铝工业中二次能源的利用	35
5. 焙烧工序二次能源利用的经济效果	39
6. 气体悬浮焙烧炉用于氧化铝生产	43
7. 无水氧化铝的生产方法及设备	54
8. 普奇流腾闪速焙烧炉	70
9. 阿尔陶流腾闪速焙烧炉	72
10. 为节能而进行改造的氧化铝焙烧炉工艺技术装备	81
11. 氧化铝生产——流腾床干燥	95
12. 含氧化铝生料在回转窑中烧熔过程的最佳化	102
13. 含氧化铝生料烧熔窑	109
14. 回转窑烧熔生料过程热平衡组成的确定	113

## 氧化铝生产的节能

S · 彼得

今后氧化铝生产的主要趋势。拜耳法生产单位能耗的降低。能耗与生产工艺的紧密关系。以及能耗必须在氧化铝和铝生产的整个过程中取得最佳值。

能耗费用是计算氧化铝生产成本的一部份。我们按照国内的和接近资本主义国际市场的价格计算了奥依卡第二氧化铝厂 1976 年的原料消耗费用。从表 1 可以看出。能耗费用（按国际市场价格）在原料费用中几乎是国内价格的一倍多。能耗费用按国内价格计算的较低的原因是由于国内能源价格规定得较低。为了比较起见。我们例举一个位于西欧海岸的、处理进口铝土矿的氧化铝厂原料费用划分。该厂铝土矿价格高的原因是曲解了费用的组成。

表 1

生产一吨氧化铝的直接原料费用的划分

原 料	单位使用量	按匈牙利和 国内价格	按资本主义 国家的价格	海岸的资本 主义国家的 氧化铝厂
		匈牙利第二氧化铝厂		
铝土矿	2·344吨	40%	31%	54%
И а о н	0·15吨	34%	25%	14%
石 灰	0·044吨	1%	1%	1%
能 量 费 用	0·442吨	25%	43%	30%
共 计		100%	100%	100%

※ 按美元折合的铝土矿的实际费用

~ 1 ~

从图 1 上可以推断出，从十年前开始，欧洲资本主义自由市场的能耗价格同美国的价格相比要高得多。我们确信，由于国际市场的影响，在最敏感的欧洲国家里<sup>被</sup>强迫更有效地使用高价能。

因此，欧洲的氧化铝厂同美国相比更加注意节能。

在过去 20 年里，匈牙利在氧化铝生产方面大力地发展了氧化铝生产设备。其主要目的就是降低单位能耗。由于这个结果，国内氧化铝生产的能耗，1976 年平均为 440 万大卡/吨，是 1959 年一次能耗 977 万大卡/吨的 45%（见图 2）。

目前在经互会的氧化铝生产中，烧结法占优势。不久将要投产的氧化铝厂（彼拉切厂 60 万吨/年、莫布洛互斯厂 30 万吨/年、匈牙利扩建 4+3 万吨/年等）主要是按照世界上公认的生产方法，即采用拜尔法生产。只是在波兰诺维尼建的 10 万吨/年的氧化铝厂除外。因为拜尔法生产能降低能耗，所以就特别地注意拜尔法。

## 2、国际情况和趋势

### 2.1 生产消费

在氧化铝和铝生产方面也同其他生产部门相类似，都在把主要注意力转到全面降低生产消费上。

铝生产由以下工艺过程组成：

铝土矿开采；

选矿；

乾燥；

铝土矿运输；

氧化铝生产；

产品供应；

铝电解。

作为整个铝生产的每个过程，虽然越来越扩大，并已有论述，但是不同的选择例如，配置、运输方式、工艺过程对整个生产是有影响的。

目前世界在铝生产方面，认为乾法烟气净化和用予焙阳极进行电解是一个重要的趋势。我们在铝电解上消耗的交流电能大约15200千瓦小时/吨铝。予焙阳极生产需要40万卡/吨铝的热能。予焙阳极电解不一定同乾法烟气净化一起进行，但是在大多数的情况下是一起实现的。为了乾法烟气净化要采用含有少量杂质、比表面积(BET)  $30 \sim 50 \text{ m}^2/\text{g}$ 的，即可以使用砂状或者中间状氧化铝。

我们在表2上把匈牙利的一水铝土矿生产的砂状氧化铝进行予焙阳极电解和粉状氧化铝进行自焙阳极电解的总能耗作了比较。在现代化氧化铝厂用中等质量的

一水铝土矿生产氧化铝(匈牙利质量标准粉状氧化铝)，需要的一次能耗大约是330万大卡/吨氧化铝。目前在匈牙利使用的自焙阳极电解大约需要16200千瓦小时/吨铝。我们是用1.92吨氧化铝电解一吨铝。在现代化的热动力站里要消费2200大卡热能才可以变为一千瓦小时电能。我们忽略了氧化铝生产过程所花费的能量。我们生产一吨砂状氧化铝花费的初步热能为380万大卡。

在使用予焙阳极的情况下，当热耗9600美元/吨和油价75美元/吨时，能节省6.6美元/吨铝。还有在乾法烟气净化的情况下，氯气的排出量减少到5~10%，相应地降低氯化盐的使用费用。

表 2

铝生产的总能耗		万大卡/吨铝	
生产部门	自焙阳极电解	预焙阳极电解	
氧化铝生产	634	730	
阳极块生产	——	40	
电 解	3564	3344	
共 计	4198	4114	
节 省	——		84万大卡/吨铝

## 2.2 投资问题

众所周知，在提高主要设备生产能力的情况下，单位投资费用就大大地降低（见图3）。因此，建设高产量的新厂可以降低产品的成本。这种影响也能在生产检查、操纵、行政管理等需要降低成本核算中出现。

为了降低成本，最近要建成年产量一百万吨左右的氧化铝厂。在1977年，一个年产一百万吨氧化铝厂建成，需要4~4.5亿美元。还必须注意同氧化铝厂有关的矿山、运输和电介配合。同时对整个建设也不能忽视资本主义的专利。我们可以了解到国际铝市场上激烈斗争的专利权，以便建设大型氧化铝厂。例如在牙买加建成了由凯撒、雷诺、阿纳康达合伙的总共年产120万吨的阿布帕特氧化铝厂。这个厂是建在铝土矿产地中心——热带地区和生产高质量氧化铝厂的一个例子。

## 2.3 铝土矿的质量

下面是我们接触到的受铝土矿质量影响的例子。虽然我们按

照匈牙利的一水铝土矿(氧化铝含量为50%、 $Al_2O_3/SiO_2=8$ )设计了现有的氧化铝生产。但是在湿处理方面的热耗需要170万大卡/吨~180万大卡/吨。如果同样的氧化铝厂。处理多帕产地(含铁量低)的水铝石矿。它的赤泥量一般为35~40%(相应少的洗涤水)。湿处理的热需要量为140~160万大卡/吨。

## 2.4 氧化铝的质量

美国氧化铝厂生产的砂状氧化铝只有5~10%是小于44微米的微粒。而与它相比的欧洲氧化铝厂在粉状氧化铝中则有40~60%。增大氧化铝的颗粒只有降低循环效率。也就是说生产一吨氧化铝需要增加碱液循环才可以。这样就导致增大能量的消耗。生产砂状氧化铝需要增加10~20%的能量。目前存在的问题是。实现乾法烟气净化需要什么程度的粗粒产品和氧化铝厂的过多消费。因为不需要比粉状质量更粗的氧化铝。所以表2上在用砂状氧化铝进行予焙阳极电解的情况下所取得的节能80~85万大卡/吨铝。还可以增加到大约140万大卡/吨铝。

目前世界上把很大注意力转到降低氧化铝的杂质上。这个想法必然在氧化铝生产过程中带来较多的消费。但是优质铝的价格也比较高(在国际市场上。99.7%的纯铝比99.5%的铝的价格贵30~35美元)。

## 2.5 赤泥过滤、赤泥存放

我们必须看到在过去和几年内赤泥过滤工艺的发展。例如在处理希腊的一水硬铝土矿时，用真空园筒过滤机可以过滤120公斤/米<sup>2</sup>·小时的赤泥。赤泥过滤，如果能同吉乌利尼公司一起采取措施就可以推成30~40米高的“赤泥堆”，那也是很经济的。

## 2. 6 管理方法

我们认为，提高管理技术水平是一个重要方向。在60年代里，为氧化铝生产解决了物理数据（温度、压力、料位等）的测定和调整。在70年代里出现了并很快发展了与生产有紧密联系的测定化学成分和仪表装置。用它实现了重要工艺数据（如溶出最终的 $\text{Na}_2\text{O}$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 浓度）的自动调整，因此得到了比手动调整时更准确的数据。建成了第一个数据测定收集系统。

工艺过程的记录随着数学模型的发展更加完善和可靠。我们已建立起单项工艺的动力模型。在几年内可以期待用计算机进行增询管理。这将在“On-line”的管理方法。

## 3. 拜耳法生产的能耗和降低的可能性

在用拜耳法生产氧化铝的现有工厂里——与铝土矿和氧化铝的质量有关——我们可以期望一次总能耗为250~350万大卡/吨。虽然使用的能耗比烧结法大大地减少。但是这种方法也是属于化学工业过程的热能要求。我们使用的能大约60%转为蒸汽生产，用重油或天然气焙烧氢氧化铝的花费占总能量的25~28%。其余10~15%是以电能形式用于各种设备的传动。

湿处理过程中需要最多热量的工序是溶出。一水硬铝土矿和



一水硬铝土矿是在比 $200^{\circ}\text{C}$ 还高的温度下溶出。用含热量较高的溶出后矿浆在多段逆流间接预热过程中对送去溶出的矿浆进行预热。把蒸汽消耗量的 $50\sim 60\%$ 用于提高溶出温度上。其大部份是 $40\sim 70$ 绝对大气压的蒸汽。

循环过程另外一个大量消耗热能的工序是蒸发。消费蒸汽量 $30\sim 45\%$ 的蒸发需要大约 $4\sim 5$ 个绝对压力的蒸汽。它来自于背压式透平机用锅炉蒸汽的一部份生产电能。我们把电能消耗按 $1800$ 大卡/千瓦小时的单位热消耗换算成一次热能。

溶出和蒸发热消耗在一定范围之间是可以相互代替的。因此需要测定蒸发的决定这是合理的问题。

氧化铝厂的热能消耗在图4上表示出一般的系统图。

下面。我们探讨重要的能量消耗降低的可能性。

### 3. 1 溶 出

经互会国家使用拜耳法生产工艺的氧化铝厂多数是采用一水软铝土矿。少数厂使用一水硬铝土矿。这些铝土矿具有的经济性是增加溶出温度。在高压溶出器方面。随着匈牙利机器工业的发展。能够生产 $100\text{米}^3$ 容积。 $260^{\circ}\text{C}$ 工作温度的高压溶出器。首台溶出器( $350\text{米}^2$ 加热面积)的试验已于11月份在奥依卡氧化铝厂开始。在少量多余碱液的情况下。用高压溶出器(主要是含有圭契特的匈牙利铝土矿)是合理的。有较好的溶出效率和良好的沉降性能的赤泥。即采用补充的溶出工艺。

在高温溶出方面。另外一个发展方向是管道反应器。近年来。西德的一些氧化铝厂开始在 $250^{\circ}\text{C}$ 下进行管道化溶出。(我们在1977年顺利地完成了属于匈牙利试验设备的泵问题。并在 $250\sim 255^{\circ}\text{C}$ 下运行了一个多月)。

在高温溶出上新矿物是采用油加热，也就是出现了盐载体加热。由于盐载体有 $400^{\circ}\text{C}$ 的温度，所以溶出需要的供热面积大大减少。而最大的效果是用这种方法（根据文献的制据）在小型设备里可以把一次盐载体含热量的 $85\sim 90\%$ 供给循环过程。而用蒸汽加热仅达到 $60\sim 70\%$ 的热效率。

我们列举，通过准确调整溶出矿浆，可以得到原料和能量的节约。用现代化的自动化，可以得到溶出最终的克分子比在 $\pm 0.01$ 的范围内。而现在是 $\pm 0.03\sim 0.04$ 。这样我们可以节约热能。在比较准确的矿浆调整下，平均碱液多余量（单位溶出碱液）可以减少。并且大部份不溶出的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 损失一起减少。阿尔马什菲基特氧化铝厂，由于首先在矿浆调整方面实现了现代化，溶出用蒸汽消耗在一年内降低 $0.13$ 吨/吨·氧化铝。

### 3.1.1 改进溶出的热能利用

溶出矿浆的大部份是通过多段自蒸发器组，在那里产生的蒸汽在逆流中把送往溶出的矿浆进行加热。

提高间接预热最终温<sup>度</sup>的方法是增加传热面积。并增加自蒸发器的段数。用这种方法在 $100^{\circ}\text{C}$ 左右的温度下，完成循环过程需要增加的那部份盐量。这在电能生产的情况下用背压蒸汽可以满足。逆流系统段数是重要问题。但是应该注意，由于复杂性增加，而稳定操作也更加困难。

“预热”的实现提供类似的成果。在那种情况下，如果间接预热器组传热能力比平均值高。（例如，在周期时间未到之前，就清洗传热面），则在terlönboeg情况下也可以实现。我们用

背压蒸汽进行的预热以代替一部份高压蒸汽预热

### 3. 2 蒸 发

我们上面谈到，蒸发要消耗蒸汽总量的30~45%。在使用现有设备的情况下，蒸发的热需要为13~15万大卡/吨蒸发水。在循环过程中的正确配合将大大地影响着生产的经济。因此，在确定更换蒸发器之前，要很好地试验有效的蒸发程度，特别是在改造其他工序的情况下，是与提高溶出温度有关系。

在降低蒸发水量时，溶出和搅拌分解的浓度，除了很好的选择之外，重要的管理也是降低进入碱液循环过程的水量。

产品氢氧化铝洗涤时，通常要消耗0.9~1.5米<sup>3</sup>洗涤水/吨，而采用现代化过滤洗涤工艺可以降低到0.4~0.6米<sup>3</sup>/吨。

在许多氧化铝厂里有大量的(1~3米<sup>3</sup>/吨)不明确的水跑到循环过程里；如通过密封盖的水封和设备、管道、底板的清洗，采用聚四氟乙烯作密封填料，用测定、检查和限制各个车间用水及流到循环过程的水量，进一步加强管理，可以用赤泥洗涤的反回水，或者从盐苛化、氢氧化铝洗涤中得到的溶液来代替洗涤水。现在我们列举，许多西方的氧化铝厂利用红区洗涤的溢流，白区的100~110克/升Na<sub>2</sub>OK浓度的反应碱液(即分解母液)作为洗涤水，在生产车间里也不可能找到上水管。

进一步完善的可能性是采用“外排”的蒸发器，以便保证在不高于110℃的温度下产生需要的热量。在采用“外排”蒸发器的情况下，我们提出用很简化的算法来计算理想蒸发

器(假设没有热损失)的节省值。

设“外排”蒸发组的排列见图5。X从m段蒸发器排、最终Y热量从n段蒸发器进入冷凝器。因此，单一蒸发为：

$$mX + nY = 1 \dots\dots\dots (1)$$

新蒸汽所产生的热需要量

$$G = X + Y \dots\dots\dots (2)$$

从上面的公式中，把(1)的Y值代入(2)内，“外排”蒸发器的热需要量为：

$$G = X + \frac{1 - mX}{n} \dots\dots\dots (3)$$

在没有“外排”的蒸发器单一蒸发情况下，需要 $1/n$ 的热量。如果外部需要热量X，用低压力蒸汽来供给，那么蒸发器和外部热的总热需要量为

$$G' = X + \frac{1}{n} \dots\dots\dots (4)$$

两种形式，进行同样水份蒸发的热需要量的差数是节约量

$$\Delta G = G' - G = \frac{mX}{n} \dots\dots\dots (5)$$

例如，如果我们把5段蒸发器的第三段“外排”的蒸汽用到预热上，我们就可以节省需要低压力蒸汽预热的那部份热量的60%左右。

根据计算，如果我们把反应液(分解母液)用热铝酸钠溶液在板式热交换器里进行逆流加热时，那么在铝酸钠溶液自蒸发冷却方面是比较经济的。有时候也可以做：主要是用没有送去蒸  
~ 10 ~

发的那一部份反应碱液来完成铝酸钠溶液的冷却。这样反应碱液可以加热到 $90\sim 95^{\circ}\text{C}$ 。那时送去蒸发的反应碱液将是 $55\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。从蒸发重新转给溶出的热量在溶出时全部作为节省的。这样在5段逆流蒸发器中产生的这些热量( $20\sim 25\%$ )，只是作为多余需要量。

根据冷却水的温度进行依次连接的方法可以得到节能。例如先在蒸发或者氢氧化铝过滤的蒸汽冷凝器中加热到 $45^{\circ}\text{C}$ 的。再在铝酸钠溶液冷却时或者在焙烧后氧化铝冷却过程中加热到 $80\sim 90^{\circ}\text{C}$ 。这样就达到对排出的赤泥进行洗涤的温度要求。

虽然碱冷凝水经过处理可以应用，而在许多情况，我们可以从碱冷凝水中生产出比生水便宜和适应的补充水。节能的意义是，蒸发器的碱冷凝水满足于 $70^{\circ}\text{C}$ 下使用。比作为生水应用的水表面水温度要高。

### 3. 3 焙 烧

用流态化焙烧炉年平均消耗73万大卡/吨氧化铝的热量。但尽管回转窑的多年发展，而成就不大。只能把单位热消耗压缩到90万大卡/吨以下。因此，在新氧化铝中一定要建设流态化焙烧。对现有氧化铝厂的经济问题，我们认为要把现有设备现代化或者用现代化的设备来代替。

### 3. 4 电能的消耗

在用于泵的<sup>能</sup>耗在电耗上是最多的。目前，离心泵对液体或矿浆量的控制，大多数是通过设置在压力管道上的控制阀。用泵传给输送介质的能 $30\sim 80\%$ 。实际上是消耗在阀的上面，特别是供给矿浆的情况下有较大的磨损。如果我们采用液体离合器

时。在节流的情况下和工艺所需范围内。为现有测定值的  
55~85%就足够了。调整值的确定是过去通常用到转数调整  
的20~25%。

进一步的节能可以在破碎—磨碎过程。以及采用现代化的搅  
拌设备。生产压缩空气的涡轮空压机。抽真空的涡轮真空泵得到。

参 考 文 献 ( 略 )

译自《Kohaszate Lopok》

1978. 7. 335—339

贵阳铝镁设计院：尹洪喜 译

吴金华 校

## 氧化铝生产工艺的节能与

### 环境保护

(西德联合铝业公司记者招待会)

1977年5月4—5日，邀请联合铝业公司就“节能与环境保护”这一主题在斯塔得举行了一次记者招待会。20名左右技术杂志编辑就十多年来铝土矿采用拜耳法生产氧化铝的发展工作进行了讨论。西德联铝业公司理事比尔·弗尔博士就具有深远的和国民经济意义的环保问题发表了意见，受到与会者欢迎。

氧化铝是用铝土矿原料生产金属铝过程中的中间产品，是在工业上采用拜耳法生产出来的。说法主要是铝土矿中的铝组份在可性的钠溶液溶解，在不溶解的残渣(赤泥)分离出去以后再经结晶和焙烧而被提取出来。说法需要大量的热能。大部份热能用在铝土矿溶出和氢氧化铝焙烧。在建设斯塔得氧化铝厂时考虑了这两个耗能大的工序。该厂的年生产能力为60万吨。能耗为230公斤油/吨氧化铝。

#### 管道溶出法

拜耳法溶出铝土矿在工艺上已从单个压煮器的非连续操作经过未磨细铝土矿采用V A W塔溶出法。二次大战后普遍使用的单溶法和双流法压煮器组的连续操作发展到管道溶出(见图1)。此管道反应器用一根反应管道取代了大量的配有搅拌器和温度调节器的容量很大的串联压煮器并用需要冷

却的赤泥悬浮液。各级自蒸发器的余汽和作为载热体的熔盐分段进行加热。为了给管道反应器连续供料。创造了压力达200巴。输送量达280米<sup>3</sup>/小时的高压活塞隔膜泵。管道和泵输送的基本问题和设计参数已在文献中做了说明。

管道反应器的特点：

1、通过近300℃的反应温度和铝土矿溶出悬浮液的高度紊流使停留时间缩短；

2、由于使用温度达400℃的载热盐加热。平均温差比蒸汽加热的压煮器高。所需加热面积较小；

3、用于加热反应管道的盐加热设备的能源利用率为90%；

4、明显地节能。因为进入循环的溶液用于再溶出时不需要进行蒸发；

5、节能和蒸发设备投资少。因为在溶出过程中就可产生必要的洗涤用水。

管道反应器在矿石生产金属方面的其他用途正在试验摸索。从铁矿石中萃取铝。从含铁的硫酸溶液中析出氧化铁。从油母页岩和金沙中萃取油和钒以及从贫矿中萃取钨等方面已经取得了良好的结果。

水冶法对于许多金属的提取具有愈来愈重要的意义。因为贫矿的处理量愈来愈多。而且水冶法具有有益于环境的特点。使用高反应温度并在压力容器内进行处理在经济上具有许多优点。试验证明。管道反应器从技术上来讲在分解方面有着一些独特的优点。它除了需要液相和固相以外还需要增



加气体反应剂。在这里有一个工业用试验厂，是由鲁奇化学公司、冶金技术公司和联合铝业公司共同建设的。供水冶和其他压力化学分解用。所以该厂备有碱性和酸性介质。

#### 沸腾层焙烧

为了用于熔盐电解，用管道溶出法生产出来的氢氧化铝必须经过焙烧以除去其中的水份。到目前为此，该工序所使用的回转窑从热工的角度来看是不能令人满意的，由于辐射损失大，转化所需热耗比理论值高出一倍还多。这使我们进行了几乎有10年的研究工作，研究的成果就是用沸腾层将氢氧化铝焙烧成氧化铝（见图2）。

沸腾层焙烧的特点如下：

- 1、节约热能；
- 2、有害物质排放量少。因为载热体的燃烧方式使 $SO_2$ 和 $NO$ 的排放量最低；
- 3、因为设备结构就是由分离和电收尘设备组成的系统，所以粉尘的排放量最少。
- 4、占地较少，维修费较低，适应性强。

#### 赤泥利用

拜耳法生产氧化铝中由于铝土矿产地不同，每生产1吨氧化铝要沉降出0.5~1.4吨铝土矿残渣（赤泥）。西德每年沉降出来的赤泥量达100万吨以上。直到目前为止它们均打入堆场或采空的露天矿存放。因为这里与其他欧洲共同体国家不同，不能将这种无害的残渣放入海内。

西德联合铝业公司有三种研究方案趋于成熟，达到了将