

氧化铝生产
工人教材

蒸发器

国营氧化铝厂编

冶金工业出版社

河北能源生产
工人教材

蒸发器

张景华 编

冶金工业出版社

氧化铝生产工人教材

蒸 发 器

国营氧化铝厂 编

冶金工业出版社

蒸 发 器

国营氯化铝厂编

編輯：王迺彬 設計：周广 朱駿英 校對：王埤一

——*——

冶金工业出版社出版（北京市灯市口甲45号）

北京市書刊出版業營業許可證出字第093号

冶金工业出版社印刷厂印 新华書店发行

——*——

1959年4月第一版

1959年4月北京第一次印刷

印数 5,000册

開本 787×1092·1/32·32,000字·印張1 $\frac{30}{32}$ ·

——*——

統一書号：15062·1568 定价 0.17 元

目 录

第一章 氧化铝厂蒸发设备的任务	1
§ 1. 回收工艺过程循环液中的碱及氧化铝	1
§ 2. 平衡工艺过程的循环液量	2
第二章 蒸发原理	2
§ 1. 概論	2
§ 2. 蒸发设备的能力	4
§ 3. 单效蒸发与多效蒸发	6
第三章 蒸发设备的物料平衡及热量平衡	3
§ 1. 蒸发设备的物料平衡	3
§ 2. 蒸发设备的热量平衡	3
第四章 蒸发器的构造	11
§ 1. 蒸发器的主要部份	11
§ 2. 夹层鍋蒸发装置	12
§ 3. 夹套式真空蒸发器	12
§ 4. 标准式真空蒸发器	13
§ 5. 列文式蒸发器	20
第五章 蒸发器的操作	21
§ 1. 作业方式	21
§ 2. 蒸发器的操作手續及条件控制	25
§ 3. 蒸发操作中的一般故障及其处理	28
§ 4. 蒸发器操作的安全作业注意事項	29
第六章 蒸发器結垢的生成与清除	29
§ 1. 結垢对蒸发器热传导的影响	30

§ 2. 垢层的生成.....	30
§ 3. 结垢的来源和成份.....	32
§ 4. 生垢率.....	33
§ 5. 结垢的除去方法.....	34
§ 6. 死眼的生成和处理.....	39
第七章 蒸发器的附属设备	40
§ 1. 冷凝器及真空泵.....	40
§ 2. 汽封.....	41
§ 3. 泵浦.....	42
§ 4. 管道系统.....	43
§ 5. 其他附件.....	46

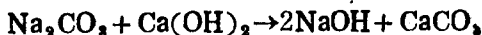
第一章 氧化铝厂蒸发设备的任务

§ 1. 回收工艺过程循环液中的碱及氧化铝

在烧結法氧化铝生产系统中，其铝酸钠溶液经过碳酸化分解沉淀析出氢氧化铝以后以及分解母液中残留的碱及一部份氧化铝经过蒸发浓缩以后，氧化铝及碱则随蒸发母液被重新利用，以供配制生料浆烧結熟料及在湿磨中再溶出氧化铝。

有时候，由于工艺过程整个液量的不平衡，溶液在蒸发设备中浓缩过大，其一部份碱成一水碳酸钠 ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 从浓碱液中结晶析出，经过沉降分离，得到固体物碳酸钠；而成为烧結法氧化铝生产的原料之一（即純碱）；再次返回工艺过程。

在拜尔法氧化铝生产流程中，分解母液经蒸发浓缩以后，其蒸发母液则是加入压煮器中用来溶出铝矾土。由于铝矾土矿体中带来的各种碳酸盐（如方解石，白云石，及菱铁矿等）以及一部份苛性钠与空气中的二氧化碳接触而生成碳酸钠，在蒸发浓缩过程，同样又自浓碱溶液中结晶分离出一水碳酸钠，然后使此一水碳酸钠与石灰乳混合，反应生成苛性钠溶液：



此生成物送往赤泥洗滌系統作为洗滌液，以回收铝酸钠。

§ 2. 平衡工艺过程的循环液量

在氧化铝生产工艺过程中，由于要求一定的碱液浓度作为溶出氧化铝之用；同时过程中洗涤赤泥及氢氧化铝等需要补充大量的水（在一般情况下，每吨氧化铝补充的水量约为3—6吨），这一部份水需要在蒸发设备中蒸发出去，才能平衡工艺过程的循环液量，从而达到均衡生产的目的。

有时，为了综合利用铝矾土矿，需要同时回收别的金属时（例如从氧化铝生产工艺过程中回收镓、钒、钾等），也需要用蒸发设备多蒸发一定量的水，以便富集金属。

第二章 蒸发原理

§ 1. 概 論

当液体的蒸汽压力和液面上的蒸发压力相等时，液体能逐渐变为气体，我们把这种由液体变为气体的过程称之为蒸发过程。用分子学说的道理来解释这一过程时，则为：靠近加热面的液体分子所获得的能量，超过液体分子间的吸引力之后，逸出液面而成为自由分子的现象称为蒸发过程。

在工业上是采用以蒸汽先将液体加热至沸腾温度，然后将生成的蒸汽在冷凝器中冷凝成水而排除掉的办法来进行这一过程。

通常我们称这种被蒸发的液体为溶液。溶液是由两种或两种以上的物质所组成的均匀混合物，在溶液中占最大部份

的組份叫做溶劑，占較少部份的組份叫做溶質。以我們所蒸發的碳酸鈉溶液為例，其中的水份叫做溶劑，而碳酸鈉就叫做溶質。

理論上，使溶液中的溶劑與溶質分開，溶劑完全被蒸發掉所需要的熱量極小，以公式表示，則蒸發所需要的熱量 ΔF 為：

$$\Delta F = RT \ln N_1 \left(\frac{N_1 + 1}{N_1} \right)^{N_1 + 1} \text{ 仟卡} \quad (2-1)$$

式中：R = 理想氣體常數 = 1.987 仟卡 / 度·公斤分子；

T = 絕對溫度 °K；

N_1 = 蒸發開始時溶劑的公斤分子數；

ln = 自然對數 = 2.303 lg。

例如，蒸發 90°C，10% 的碳酸鈉溶液 1 公斤水份所需的熱量，根據公式 (2-1) 計算為 3.12 仟卡，實際上，在一般操作情況下，蒸發 1 公斤水份所需的熱量約為 500 仟卡。與理論值相差很大，故蒸發設備是擁有極大的潛力的。

關於提高蒸發設備中熱能的利用效率問題，目前已用的辦法是：

一、重復利用蒸汽

根據蒸汽加于蒸發設備中被利用的程度來區別，蒸發設備有單效蒸發與多效蒸發之分；即新蒸汽加入蒸發設備中，新蒸汽本身被冷凝成水排出，蒸發設備中的溶液被加熱沸騰而產生的蒸汽（即二次蒸汽）被直接排入冷凝器中而廢棄不用的叫做單效蒸發；反之，此二次蒸汽被用來加熱另一蒸發設備中的溶液而使之產生蒸發作用的叫做雙效蒸發；利用蒸汽兩次或兩次以上的叫做多效蒸發。

在理論上，每增加一效蒸发即能减少耗用蒸汽量的二分之一，只需增加蒸发设备之效数，則可将加热蒸汽降低到极少量。

二、提高蒸发设备的温度差

送入蒸发设备进行加热所用蒸汽的温度与进冷凝器中的蒸汽的温度之差叫做温度差；如果温度差愈大，适用的蒸发效数愈多，及蒸发量愈大；則所使用的新蒸汽量就愈少。提高温度差的办法是：

(1) 真空蒸发：采用真空泵将蒸发设备抽成真空，而在低于大气压力的压力下进行操作，以降低溶液的沸点温度；

(2) 加压蒸发：适当提高新蒸汽的使用压力或者利用压缩机，以提高二次蒸汽的压力，可以提高温度差。

§ 2. 蒸发设备的能力

溶液在蒸发设备中吸收蒸汽所供给的热量，而本身发生沸腾蒸发的现象实际上是一种热能传递的过程；所以蒸发能力，可用传热速率关系式表示如下：

$$Q = UA\Delta t \quad (2-2)$$

式中：Q = 单位时间内流过的热量 仟卡；

U = 总传热系数 仟卡/平方公尺·C小时；

A = 传热面积 平方公尺；

Δt = 有效温度差 C。

故蒸发设备的传热速率与总传热系数，传热面积及有效温度差有关。在一般情况下，如传热面积不变，則提高总传热系数及其有效温度差，便可使蒸发设备的能力提高。

一、总传热系数

总传热系数的影响因素为：

(1) 蒸汽将热传到加热管壁上的因素，例如，与设备传热面的光滑程度、加热管群的排列次序、加热蒸汽的流动方向及速度，以及不凝性气体的排除程度等有关；

(2) 加热管壁将热传给溶液的因素，例如要求溶液有较高的循环速度、加热管壁光滑、液面均衡（保持在管的上端20—30公厘处），以及降低溶液的粘度等；

(3) 管壁阻力因素，例如加热管的材料及质量的影响；

(4) 管壁结垢的因素，例如加热管内外垢层过厚，影响传热速率。

蒸发设备的总传热系数一般在800—1600之間。这可以經实验测得。

二、有效温度差

蒸发设备加热用的蒸汽温度必须高于溶液的沸点温度才能蒸发，这两温度之差叫做有效温度差。由于温度损失，有效温度差常远较蒸发设备的总温度差小，这种现象叫做温度差损失。

有效温度差的损失主要表现在以下两方面。

(1) 溶液的沸点上升现象：因溶液中溶解有固体物质；在同一温度下，溶液的沸点较纯溶剂的沸点高，即沸腾溶液的温度要比二次蒸汽的温度高，例如经过碳酸化分解后残留的铝酸钠溶液，在1大气压下，沸点温度为108°C，而水——纯溶剂在同压力下的沸点温度则为100°C。所以实用的有效温度差降低，蒸发效数愈多，损失愈大，以至不能操

作；在实用上，蒸发设备中的有效温度差应不低于5—7°C；故溶液的沸点上升现象，限制了蒸发设备的效数。

另一沸点上升现象系由于蒸发设备中液柱静压力的影响；因为蒸发汽化作用一般均在蒸发器的整个加热表面上产生，而加热表面又有一部份在液面之下，此处的溶液需克服上部液柱压力后，才能沸腾汽化，所以有温度差的损失。

(2) 导管压力损失引起的有效温度差降低现象：二次蒸汽经过导管，需要克服导管阻力，因而引起压力损失；蒸汽速度愈高，导管愈长，温度下降愈大；故有效温度差有损失。根据试验数据，此项有效温度差损失平均约为1.5°C。

§ 3. 单效蒸发与多效蒸发

应用(2—2)传热速率关系式，单效蒸发的蒸发能力可表示为：

$$Q = UA\Delta t$$

如用数字1, 2, 3……表示多效蒸发设备中1效, 2效, 3效等传热情况，则多效蒸发的蒸发能力可表示为：

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ &= U_1 A_1 \Delta t_1 + U_2 A_2 \Delta t_2 + U_3 A_3 \Delta t_3 + \dots \end{aligned}$$

$$\text{令 } U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots;$$

$$A = A_1 = A_2 = A_3 = \dots;$$

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots。$$

则上式可改写为：

$$\begin{aligned} Q &= U_1 A_1 \Delta t_1 + U_2 A_2 \Delta t_2 + U_3 A_3 \Delta t_3 + \dots \\ &= UA (\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots)。 \end{aligned}$$

$$\therefore Q = UA\Delta t$$

上式証明，在同型式，同规格的蒸发设备，及同样操作情况下，单效蒸发与多效蒸发的蒸发能力相同。第二节說明，在热能利用上，多效蒸发显然比单效蒸发經濟得多。在实际应用上，此种热能利用的經濟程度随蒸发效数的增加而迅速降低。

如以蒸发 1 公斤水所消耗的加热蒸汽量来比較单效蒸发与多效蒸发的热能利用經濟程度，則約为下列数值：

单效蒸发	1.1 公斤蒸汽
二效蒸发	0.57 公斤蒸汽
三效蒸发	0.4 公斤蒸汽
四效蒸发	0.3 公斤蒸汽
五效蒸发	0.27 公斤蒸汽

因此，蒸发效数增加到一定数量时，其經濟程度則将变为不值重視之数值；工业上最常用者为三效蒸发及四效蒸发，而单效蒸发則应用較少。

在通常情况下，为了降低溶液的沸点，蒸发设备中的溶液蒸发过程系在真空下进行，二次蒸汽通入冷凝器冷凝后排除出去；因被冷凝的蒸汽中常常含有少量的不凝性气体，所以須用真空泵抽走。

加到蒸发器中被蒸发溶液的溫度，要是比蒸发器中溶液的沸点溫度低时，那么只能在加热达到沸点以后，才能开始汽化蒸发；因此蒸发器的一部份加热面积，只能作为低传热系数的預热面积之用。所以在蒸发设备中經常装有一个至数个預热器；利用蒸发设备中二次蒸汽的一部份（叫做蒸发器的額外蒸汽），或利用蒸发设备中蒸汽冷凝水預热溶液，这样可使热能經濟效率提高 15—20%。

第三章 蒸发设备的

物料平衡及热量平衡

为了了解蒸发设备的性能和各种影响蒸发能力及热能经济效率的因素；计算蒸发设备的物料平衡及热量平衡是最有效的办法。

§ 1. 蒸发设备的物料平衡

蒸发设备的物料平衡方程式，是以溶液中所含溶质量为基准而列出的。在没有物料损失的情况下，假设：

S = 被蒸发的溶液量，公斤

B_0 = 原液浓度，以溶质的重量百分浓度表示，%

B_n = 完成液浓度，以溶质的重量百分浓度表示，%

W = 蒸发出的水量，公斤。

则可以得到蒸发设备的物料平衡方程式：

$$SB_0 = (S - W) B_n \quad (3-1)$$

得蒸发水量：

$$W = S \left(1 - \frac{B_0}{B_n} \right) \quad (3-2)$$

§ 2. 蒸发设备的热量平衡

为便利列出蒸发设备的热量平衡方程式，增用下列符号，并以数字 1, 2, 3…… 表示多效蒸发效数的相应条件，标于符号的右下角。

W = 蒸发出的水量, 公斤

S = 蒸发原液量, 公斤

C = 溶液的比热, 仟卡/公斤, °C

D = 加入的蒸汽量, 公斤

λ = 蒸汽热含量, 仟卡/公斤

i = 二次蒸汽热含量, 仟卡/公斤

t = 进入蒸发器的溶液温度, °C

θ = 蒸发器排出的冷凝水温度, °C

Δ = 热损系数

η = 热能经济效率。

在单效蒸发器内, 消耗的热量为:

将溶液加热到沸点所需之热, $SC(t_1 - t)$

溶液蒸发热, $W(i - t_1)$

损失于外界之热

蒸汽供应的热量为, $D(\lambda - \theta)$

得热量平衡式

$$D(\lambda - \theta) = W(i - t) + SC(t_1 - t)$$

或,
$$W = D \cdot \frac{\lambda - \theta}{i - t} + SC \cdot \frac{t - t_1}{i - t}$$

同理, 可以写出多效蒸发时的热量平衡式

$$W_1 = D_1 \cdot \frac{\lambda_1 - \theta_1}{i_1 - t_1} + SC \cdot \frac{t - t_1}{i_1 - t}$$

$$W_2 = D_2 \frac{\lambda_2 - \theta_2}{i_2 - t_2} + (SC - W) \cdot \frac{t_1 - t_2}{i_2 - t_2}$$

$$W_3 = D_3 \frac{\lambda_3 - \theta_3}{i_3 - t_3} + (SC - W_1 - W_2) \cdot \frac{t_2 - t_3}{i_3 - t_3}$$

$$W_n = D_n \frac{\lambda_n - \theta_n}{i_n - t_n} + (SC - \sum W_j) \cdot \frac{t_{n-1} - t_n}{i_n - t_n} \quad (3-3)$$

如会:

$$\alpha_n = \frac{\lambda_n - \theta_n}{i_n - t_n}, \text{ 叫做蒸发系数,}$$

$$\beta_n = \frac{t_{n-1} - t_n}{i_n - t_n}, \text{ 叫做自蒸发系数,}$$

Δ_n = 蒸发设备的热损系数。

为考虑到简化计算, 并代入计算因子, a , b ,

则多效蒸发的热量平衡方程式, 可改写为:

$$W_1 = (D_1 \alpha_1 + SC \beta_1) \Delta_1 = D_1 a_1 + b_1$$

$$W_2 = [D_2 \alpha_2 + (SC - W_1) \beta_2] \Delta_2 = D_1 a_2 + b_2$$

$$W_3 = [D_3 \alpha_3 + (SC - W_1 - W_2) \beta_3] \Delta_3 = D_1 a_3 + b_3$$

$$W_n = [D_n \alpha_n + (SC - \sum W_j) \beta_n] \Delta_n = D_1 a_n + b_n \quad (3-3)$$

式中: $a_1 + a_2 + a_3 + \dots = a$

$$b_1 + b_2 + b_3 + \dots = b$$

$$D_1 = \frac{W-b}{a} \quad (3-4)$$

$$\sum W_j = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_{n-1}$$

蒸发设备的热能经济效率:

$$\eta = \frac{D_1}{W} \text{ 公斤蒸汽/公斤水} \quad (3-5)$$

第四章 蒸发器的构造

使稀溶液过渡到浓溶液或是溶液中之固相结晶析出等之工艺过程都必须利用蒸发原理，按照各种溶液的性质（可能流动性很大，易于蒸发；可能粘滞度很大流动性不好；也可能易于生成垢疤），需采取各种不同的蒸发方式，因而蒸发器的类型也有所不同了。经过历年来的改进和发展，目前已经有许多各式各样的蒸发装置。至于采用何种蒸发装置为好，须从两方面来考虑，一是经济价值，一是所要蒸发的溶液性质。

任何一种蒸发装置都是利用加热的方法进行（自然蒸发除外）的，并且是利用蒸汽间接加热的，也就是说利用金属容器以传递热量，将大量的热给予被蒸发的溶液，使其达到沸点而除掉水分。下面将逐一介绍各类型蒸发器。

§ 1. 蒸发器的主要部份

由简单直到最复杂的蒸发器，都是由其一定而不能缺少的各个部份所组成的。它的主要部分，大致包括：

- (一) 液体蒸发所在的区域；
- (二) 容纳热蒸发的装置；
- (三) 蒸汽输入口；
- (四) 传递热量的受热面积；
- (五) 二次蒸汽输出口；
- (六) 蒸汽凝结水的排出口；