

81.23

~~61308~~

102962

WDS

ZHENGJIAN SHEBEI JI CAOZUO

蒸碱设备及操作

王德善 王馨栋 編著

(内部资料·注意保密)

化学工业出版社

HUAXUE GONGYE CHUBANSHE

蒸碱設備及操作

王德善

編著

王鑾棟

(內部資料 注意保密)

化学工业出版社

本书介绍了电解法制造烧碱中蒸发工段的设备及其生产操作。

本书首先对烧碱蒸发的基本知識作了簡明扼要的介紹。对蒸发器的构造、操作及水垢处理均有詳細的闡述，并敘述成品碱液內固体盐的回收、生产中设备的維護及事故处理。书末还附有原料及成品的分析方法及常用生产計算数据表等。

本书系重庆天原化工厂蒸碱工人王德善同志在王馨栋同志协作下編写成。本书介紹的主要是該厂的生产情况，可供烧碱工人和技术人員参考。

蒸碱设备及操作

王德善 王馨栋 編著

书号：(內) 0357

定价：0.50元

化学工业出版社(北京安定門外和平街)出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第002号

化学工业出版社印刷厂印刷 内部发行

1960年9月第1版

1960年9月第1版第1次印刷

開本：787×1092 1/32 字数：70千字

印张：3 $\frac{16}{32}$ 插頁：8 印数：1—5,500

目 录

第一章	烧碱蒸发的基本知識	5
第一节	烧碱的物理化学性质及其制造方法	5
第二节	温度与热量、真空与压力	8
第三节	蒸发与传热	12
第四节	蒸发器	18
第二章	三效四体蒸发器的构造	24
第一节	蒸发设备的构造	28
第二节	食盐回收设备的构造	43
第三章	三效四体蒸发器的操作	52
第一节	控制蒸发器操作的基本知識	52
第二节	蒸发器的开车	66
第三节	蒸发器的正常运转	67
第四节	蒸发器的停車	69
第五节	滤盐器的操作	71
第四章	成品碱液内固体盐的回收——拉盐	74
第一节	盐的来源及处理方法	74
第二节	拉盐的依据及其操作方法	75
第五章	蒸发器中的水垢处理——酸洗效法	79
第一节	水垢的来源及其分布	79
第二节	清洗的方法及酸液配制	81
第三节	酸洗效的操作步骤	82
第四节	酸洗效后各效的压力变化情况	82
第五节	酸洗效应注意事項	86
第六章	设备的维护及事故处理	87
第一节	操作过程中常遇的事故及其处理方法	87
第二节	维护及检修	93
第三节	安全注意事項	99

附录	100
（一）原料及成品的分析方法	100
（二）蒸碱设备腐蚀情况统计表	102
（三）NaCl水溶液近饱和时含量与波美度对照表	103
（四）20°C时NaCl在NaOH水溶液中的溶解度	105
（五）饱和水蒸汽性质表	108

第一章 燒碱蒸發的基本知識

· 第一节 燒碱的物理化学性質及其制造方法

燒碱或称火碱，学名氫氧化鈉（或称苛性鈉），在常溫下为白色結晶之固体，熔点 $322^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，純氫氧化鈉（100%）比重 2.13 ，分子式为 NaOH ，分子量为 40 ，放置空气中能吸收空气中的水分及二氧化碳轉变为碳酸鈉。氫氧化鈉极易溶于水，在水中溶解度非常大，在 0°C 时 100 克水中溶 42 克， 100°C 时溶 347 克，其水溶液呈碱性反应，能将紅色石蕊試紙轉变为蓝色，以手触之有滑膩感，对皮肤呈强烈刺痛，能灼伤皮肤。

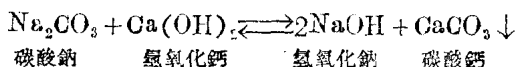
工业中所称之液碱，系含有飽和盐份之氫氧化鈉水溶液，其中飽和盐份的含量，随氫氧化鈉的浓度增高而减少，随溫度升高而增加（见附表4），液碱的比重随浓度增高而增加，随溫度之升高而降低（见附表4），其校正系数在 25°C 以下为 $0.0007/\pm 1^{\circ}\text{C}$ ， $25.5\sim 35.5^{\circ}\text{C}$ 为 $0.0006/\pm 1^{\circ}\text{C}$ 35.5°C 以上为 $0.0005/\pm 1^{\circ}\text{C}$

（校正至 15.5°C ）液碱的沸点随浓度与压力增加而升高（见图11），其粘度与溫度成反比，而与浓度成正比。导热率与粘度成反比。碱液放置在空气中，能吸收空气中的二氧化碳而轉变为純碱（碳酸鈉），故在液碱中均含有純碱，当液碱在一定的浓度及冷却溫度下，能生成含水的結晶物从溶液中析出，利用此法可得含盐极少（小于 1% ）的燒碱，例如将 47°Be 之液碱冲淡到 37°Be ，并冷却到 1.8°C ，即形成 $\text{NaOH}\cdot 3\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{NaOH}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 之燒碱結晶，而将大部分盐分留于母液內。

燒碱（苛性鈉）为化学工业的基础，广泛用于人造絲、肥

皂、造纸、有机染料、纺织工业，以及净化矿物油、制造氧化铝、合成苯酚等工业部门。工业上制取烧碱的方法有两种：一种是苛化法，一种是电解法，兹分述如下：

(一) 苛化法 苛化法为烧碱生产最古老的方法，其法系将纯碱 (Na_2CO_3) 在 $60^\circ\sim 70^\circ\text{C}$ 时溶化为 $10\sim 12\%$ 的溶液，然后将生石灰加入搅拌之，按下列反应而生成氢氧化钠与碳酸钙：

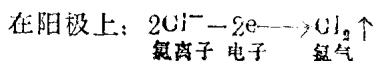
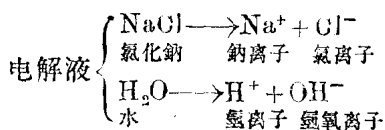


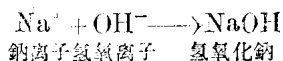
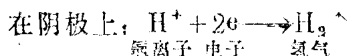
碳酸钙不溶于水，用沉淀法使之分离，上层清液，含 NaOH 约 $90\sim 120$ 克/升，送入蒸碱工段蒸发成浓碱液出售，或为了运输方便与某些特殊用途再熬成固碱出售。

(二) 电解法 电解法为现代生产烧碱使用得最广泛的方法，其法系在电解槽内使直流电通过饱和盐水，而将盐分解为氢氧化钠、氯气和氢气，根据电槽结构形式不同又再分为以下两种：

1. 隔膜电槽：隔膜式电槽是用石墨作为阳极，铁作为阴极，而在阴阳两极之间加上一层多孔隔膜（石棉网）以防止溶液混合，当直流电通过饱和食盐水溶液时，溶液中离子即分别获得电子或丢掉电子而成为不带电的物质放出。如在阳极产生氯气，在阴极产生氢气。同时钠离子与氢氧离子结合为不带电的氢氧化钠。

食盐的电解过程可以用下列方程式表示：



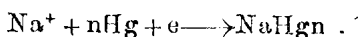


用这种方法获得的电解液成分大致如下:

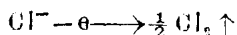
NaOH	90~110克/升
NaCl	170~190克/升
NaClO ₂	1.5~2.5克/升
NaClO	微量
SO ₄ ⁻	0.1克/升

电解液NaOH浓度很低,同时含盐过高不能出售,所以必须经过蒸发工序浓缩,同时回收其中95%的食盐后再出售,或制成固碱。

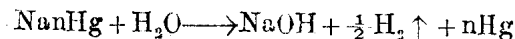
2. 汞阴极电槽 汞阴极电槽系采用汞(水银)为阴极,石墨作为阳极,当直流电通过饱和盐水时,在阳极上Na⁺放电而生成钠汞齐。



在阳极上Cl⁻放电而生成氯气。



钠汞齐由电槽流出后,用热水处理而产生氢氧化钠与氢气。



汞又可重新流入电槽使用,用这种方法制得的烧碱液不但纯度高(含NaCl小于1%)而且浓度达650~700克/升,不再经过蒸发便可作为液碱出售或制成固碱。

上述三种方法,虽然汞阴极电槽不用蒸发,只有苛化法与隔膜法才须经过蒸发工序,但是由于汞的价值甚贵且用量又大,故目前我国生产烧碱仍以隔膜法为主,因之蒸发工序也就成为烧碱厂必不可少的部门了。

第二节 温度与热量、真空与压力

在蒸发器的操作中，设备是否运转正常，生产能力的大小，完全决定于传热的好坏（见下节），而掌握操作的工作人员则以各效内压力或真空度的变化来加以判断，所以明确温度、热量、真空、压力的概念及饱和水蒸汽的压力与温度关系是非常重要的，兹分别叙述如下：

（一）温度与热量 物体有冷热的分别，我们称冷物体的温度比热物体的温度低、而热物体比冷物体温度高，但是温度高低并非绝对，乃是相对而言。例如：冰与水比，水的温度就比冰高，而水与烧红的铁棍相比，水的温度就低了，因此，要确定温度的高低就必须首先定出温度的单位，现在最常使用的温度单位是摄氏度，用符号“ $^{\circ}\text{C}$ ”表示之，摄氏温度是以水结冰的温度为0度，水在标准大气压时之沸点为100度来确定的。

测量温度高低的仪器称为温度计，温度计按照构造材料与根据的原理不同又分为水银温度计、酒精温度计，热电偶高温计、光学高温计等。

这样，有了温度的测量单位，又有了测量温度的仪器，我们就可以明确知道物体的温度，并用数字把它表示出来。例如，人体的温度是 37°C ，锡熔化的温度是 231.9°C ，铸铁熔化是 1050°C 等。

温度只能表示物体的冷热，并不能表示物体内含热量的多少，例如一杯开水与一盆热水相比较，虽然开水的温度要高些，但是它所含的热量确比一盆热水少得多，所以热量与温度绝不能混为一谈。

热量的单位用卡或仟卡表示之，它的确定方法是以1克水每升高温度 1°C 时所需的热量称为1卡，卡的1千倍称为仟

卡，1 公斤水等于 1 仟克，所以 1 公斤水每升高 1°C 就需要 1 仟卡热量。

(二) 真空与压力 为了说明真空与压力的关系，我们举出一个常见的例子：用一有塞的长颈漏斗，先将旋塞关闭，然后倒置于盛有水之玻璃杯中（图 1 甲）这时虽然杯中盛满了水，但圆漏斗内有空气存在，所以水不能进入，但如果将漏斗一端与抽气机（真空泵）连接，并开启旋塞，将空气抽出，于是水就慢慢上升（图 1 乙）。这是因为抽气机将漏斗内空气抽出后，漏斗内气体压力比外界大气压力低了，因此外面大气的压力就将水压入漏斗内，显然，抽出的气体愈多，水也上升得愈高。

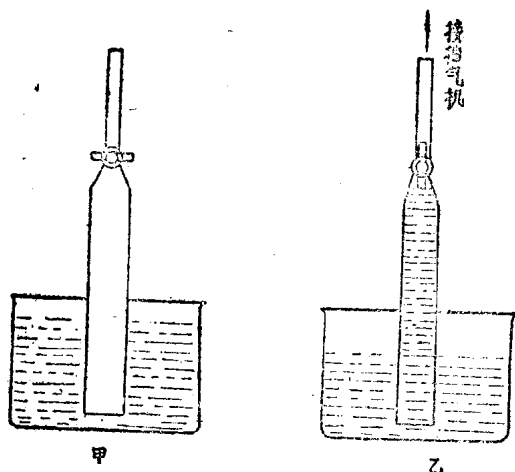


图 1

在地球表面上存在着一层空气，我们称它为大气，几乎在任何角落空气的压力都相等，我们称为一大气压，按通常习惯小于一大气压的压力我们称为真空，其相差数目称为真空度，大于一大气压的压力称为表压或表压力，亦同样以其差额称呼。

如果用一根长1米的玻璃管插入盛有汞（水銀）的烧杯內（图2），而将另一端用橡皮管与真空泵连接，开动真空泵将其中空气抽出，于是水銀逐漸上升，当空气全部抽完时，水銀也达到一定高度不再繼續上升，这时說明水銀柱对底部所产生的压力与大气压相等，用尺量之其高度恰为760毫米，如将高度换算为英吋則为 $760/25.4 = 29.92$ 吋，再如水銀柱的截面积是1厘米²时，則底部所受压力等于

$$\frac{760 \times 13.6}{10} \approx 1034 \text{ 克/厘米}^2 \approx 1.034$$

公斤/厘米²

所以 1 大气压 = 760 毫米汞柱 = 1.034 公斤/厘米²

$$= 29.92 \text{ 吋汞柱} = 14.696 \text{ 磅/吋}^2$$

必須注意，所謂真空度或表压力均对空气而言，把空气的压力作为 0 計算，实际上，空气的压力为 760 毫米汞柱，故绝对

压力（或称真正压力）与真空度或表压的关系如下：（图3）

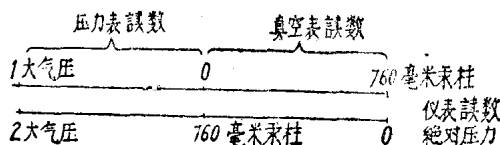


图 3

图3的表示关系亦可用数学式表示之，在真空情况下：

$$\text{绝对压力} = 760 - \text{真空度}$$

在有压力情况下:

绝对压力 = 1 大气压 + 表压力

工厂中测量真空度或表压力是用真空表或压力表来进行的, 真空表有两种:

1. 汞柱表: 它的单位是 毫米汞柱。
2. 英吋表: 它的单位是 吋汞柱。

压力表也有两种:

1. 公斤表, 它的单位是 公斤/厘米²。
2. 磅表, 它的单位是 磅/吋²

各种表示方法其换算如下:

表 1

大 气 压	公斤/厘米 ²	磅/吋 ²	吋 汞 柱	毫 米 汞 柱
1	1.034	14.696	29.92	760
0.967	1	14.23	28.95	735
0.068	0.0704	1	2.04	51.3
0.0334	0.0345	0.49	1	25.4
0.00132	0.00136	0.0193	0.0393	1

(三) 饱和水蒸汽压力与温度的关系 在蒸发操作中, 通常均采用饱和水蒸汽作为加热介质, 饱和水蒸汽的温度系随其压力增加而增加。其温度与压力的详细数据见附表 5, 并将其相互关系绘制成图 4。用横座标表示水蒸汽的温度, 纵座标表示水蒸汽的压力 (真空度用毫米汞柱表示, 压力用公斤/厘米²)。

由图 4 看出, 水蒸汽的温度随其压力上升而增加, 但并不成比例, 在高真空时压力略增 (即真空度减小), 温度增加很快, 而在高压情况下压力增高很多, 但温度升高很少。因此在一般情况下使用 70~80 磅/吋² 的蒸汽压力加热已经足够了, 如

果压力再增加，温度增加很少，但加热器壁的厚度就增厚很多。

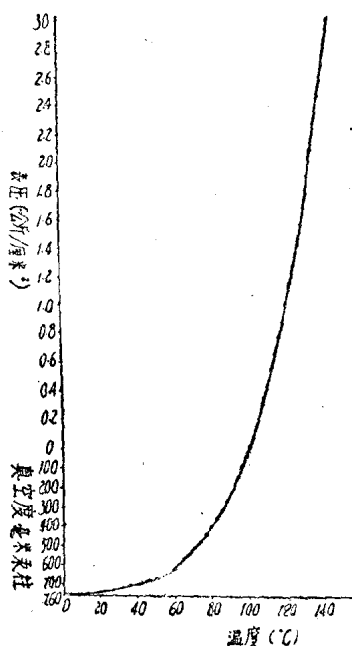


图 4

第三节 蒸发与传热

(一) 蒸发与传热的关系

任何物质都具有三种不同形态，即固态、液态与气态。以水为例，在常压的情况下，水在 0°C 以下是冰（固态），在 100°C 以上是水蒸汽（气态），只有在 $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 之间才是以水（液态）存在。物质由一个状态转变为另一个状态，也伴随着能量的变化——吸热或放热。由固态转变为液态（冰变为水）是吸热，反之即是放热，由液态转变为气态（水变为水蒸汽）是吸热，反之即是放热。

物质由一个状态转变为另一个状态所吸收或放出的热量称为潜热，由固体变为液体叫熔解潜热，由液体变为气体叫蒸发潜热（或称汽化潜热）。

各种物质各有其不同的潜热（水在各种不同温度下的蒸发潜热见附表 5），例如在常压下由冰转变成水，每一公斤冰要吸收 80 仟卡热量，所以它的熔解潜热便是 80 仟卡/公斤，由水变为水蒸汽每一公斤要吸收 538.7 仟卡热量，所以它的蒸发潜热便是 538.7 仟卡/公斤。但酒精由液态变成酒精蒸汽每一公斤就只吸收 204 仟卡热量，醋酸一公斤只吸收 96.8 仟卡，因之，它们的蒸发潜热分别为 204 仟卡/公斤、96.8 仟卡/公斤。

把稀溶液濃縮为浓溶液，是必須除掉稀溶液中的一部分水份，在工业上一般都采用蒸发器使稀溶液中一部分水份汽化而除去，所以就必須加热。而蒸发的数量、蒸发器的效率，完全由传热多少、传热的快慢来决定，因此传热便成为蒸发設備的最重要条件之一。

(二) 热傳导的种类及傳热公式 热傳导的种类有三种——傳导、对流、輻射。

1. 傳导：热量传过物体内部，物体本身分子并不运动，只由构成物体的分子用热振动方式将热量由高温部份传向低温部份，所有固体物质，例如銅、鉄、砖木、石等的传热均属这一类型。

2. 对流：热量传过物体内部，系借分子运动的方式由高温部份传向低温部份，在液体与气体的传热就属于这一类型，例如用鍋烧水，热量由炉内經鍋壁的傳导而由外壁传至内壁，靠内壁的水分子因受热而上浮，上层的冷分子又循环下来，这就发生了物质分子的对流，随着加热时间的增长，温度也就逐渐升高。

3. 輻射：以上两种传热方式，热量都是經過一定物体来傳导。而太空中的太阳离地球亿万里，它的热量传至地面，經過无任何物质存在的太空，这样既非傳导，也非对流，而是以一种电磁波方式传来的，这种传热方式我們称为輻射。人們生活中烧火取暖也多半属于这一种传热方式（一部分为空气对流）。

上面所述三种传热方式，决不能脱离一项基本原则，即热量永远是由高温传向低温。但無論在日常生活中或在工业設備上，传热并非以一种单独方式进行，而是两种或三种方式同时并举，例如：在蒸汽鍋炉中，煤所燃烧的热量系由輻射与对流方式传至器壁，再由器外壁經過傳导方式传至器内壁，然后再借水分子的对流传至整个水内而发生蒸汽。再如，在蒸发器的

传热中，热量系由水蒸汽冷凝产生，经过加热管壁的传导而将热传至管内，再由溶液的对流循环至整个被蒸发的溶液内而将水份蒸发掉。

在传热的另一个必要条件是无论那种方式都必需经过一定的传热面，传热面越大，在相同的时间内所传过的热量也越多。

因此在单位时间内由高温物体传向低温物体的热量是与它们的温度差成正比，与传热表面成正比。写成数学式为：

$$Q \propto F \cdot \Delta t$$

写成等式为：

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t$$

式中： Q ——单位时间内传过的热量(仟卡/小时)；

F ——传热面积(米²)；

Δt ——热物体与冷物体的温度差(°C)；

K ——比例常数，即传热系数(仟卡/米²·小时·°C)。

传热系数随传热设备的构造形式不同，所用的材料也就不同。物体温度不同，物理性质(例如：粘度、浓度、比热等)及化学成份(例如：油、水、浓碱、淡碱、盐水、糖浆等)也不同意种种原因而有不同数值，要确定它是一件非常复杂而困难的事，虽然世界上无数学者对各种情况的传热都进行了详细研究，在研究结果上也推算出了很多经验的计算公式，但都是极其繁复，而且也都不够准确，只能作为参考，限于本书内容这里就不作详细讨论，只将对传热有严重影响的事项略述如下：

1. 在固体物质方面：金属传热能力最强，例如铜、银、铁、镍、铝等，它们称为热的良导体。非金属传热是不好的，例如砖、瓦、木、石、石棉、稻草、烟灰、盐类、水垢等，它们称为热的不良导体。因此蒸汽锅炉必须清灰，蒸发器结盐后应该用水洗效，在结水垢后应该用酸洗效，才能提高设备的传热

能力，反之如果要防止热量的损失，可用石棉或硅藻土砖（保温砖）、稻草等在设备外壳上涂上一层，以减少热量的损失。

2. 在液体物质方面：浓度愈大，粘度愈大，液体內固体愈多則循环就愈困难，传热也就愈坏，所以烧开水时传热最快，二、三效的稀碱液就比甲乙效的浓碱液容易传热。

3. 在气体方面：蒸汽传热最好，而在设备中不能冷凝的气体如空气、二氧化碳等传热不好，所以在蒸发器中必须将蒸汽中所含不凝气体（空气）不断排出，才能使设备传热良好。

根据以上所述事項，所以在操作蒸发器中，要使设备的生产能力最好，就必须做到下列几点：

1. 保持加热管不結盐，发现結盐应立刻洗效。
2. 适当控制各效浓度，尤其在滤盐器滿后应立刻更换（詳见蒸发器操作章），以利溶液循环。
3. 蒸发器結合处应紧密，尤其在真空部份勿使空气漏入，并应适当地陆續排出不凝气体。

对上述公式的运用可以举例說明如下：

〔例〕 在蒸发器的第二效中加热蒸汽的压力为7.5磅/吋² (112°C)，二次蒸汽压力为12.3吋汞柱，器中溶液沸騰温度为98.9°C，經查定测得此效的传热系数为910仟卡/米²·小时·°C，加热面积为60.7米²，試計算每小时传过的热量及蒸发水量。

〔解〕 先求出传热的温度差：

$$\Delta t = 112 - 98.9 = 13.1^{\circ}\text{C}$$

再运用公式

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t$$

式中：K——传热系数，910 仟卡/米²·小时·°C，

F——传热面积，60.7 米²。

故

$$Q = 910 \times 60.7 \times 13.1$$

$$= 722,000 \text{ 仟卡/米}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{C}$$

由附录(五)查得在12.3吋汞柱压力下蒸发1公斤水需要553仟卡热量,故每小时蒸发水量为:

$$\frac{722,000}{553} = 1,305 \text{ 公斤}$$

故这个蒸发器的第二效每小时传过热量722,000仟卡,每小时蒸发水量1,305公斤。

(三) 蒸发的概念及加热方式 以上谈到蒸发是从溶液中除去水份(或其他溶剂),这样谈是过于简单,因为物料的干燥也是除去水份,在牛乳制成奶粉的过程中,虽然也是由牛乳溶液中除去水份,但我们往往称它为干燥,在晒衣服、烤衣服时,虽然也是除去水份,但我们仍然称它为干燥,所以这里应当将蒸发与干燥的概念加以区分。

蒸发一般指由不挥发的溶质(例如盐、烧碱)与挥发的溶剂(例如水)所组成的溶液(例如电解液)中,用加热沸腾的方式除去一部或全部溶剂(例如水),而将溶液变浓或熬干。

干燥一般指由固体物质中用加热方式在不沸腾情况下使部份或全部溶剂挥发掉。

蒸发需要热量,而所产生的蒸汽又必须除去,热源的供给有各式各样,所生成的蒸汽也有不同的除去方法,兹分述如后:

1. 热源的供给:

(1) 烟道气加热法——直接燃烧煤、木柴、油类、天然气、水煤气等燃料,用它们燃烧的火焰或高温气体作为加热介质,这种方式叫烟道气加热法,蒸汽锅炉与家庭煮饭就属于这种加热方法。

(2) 油浴加热法——用高沸点的油类例如机油,先烧热后,再用来加热,这种方法加热均匀,实验室常用之。