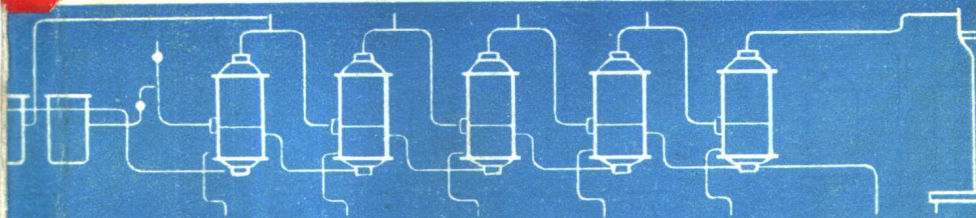


甘蔗糖厂工人技术读本

发 蒸 汁 糖



轻工业出版社

内 容 提 要

本书是《甘蔗糖厂工人技术读本》丛书之一。本书主要介绍了糖汁蒸发的基本原理、蒸发设备结构、操作要点、糖汁在蒸发过程中的变化、蒸发热力方案及常用工艺计算等基础知识。

本书可供甘蔗糖厂生产工人自学用，也可作为甘蔗糖厂生产工人的培训教材或业余技术教育教材。

甘蔗糖厂工人技术读本

糖 汁 蒸 发

广东省糖纸食品工业公司

轻工业出版社出版

(北京阜成路9号)

天水新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米 1/32 印张: 5 30/32 字数: 134千字

1976年7月 第一版第一次印刷

1983年4月第一版第二次印刷

印数: 11,451—17,050 定价: 0.42元

统一书号: 15042·1393

前 言

随着我国社会主义革命和社会主义建设的飞速发展，我国制糖工业的形势大好，生产技术大幅度提高，技术队伍不断地壮大。为了适应制糖工业迅猛发展的形势和满足广大制糖工人为革命学习技术理论的需要，我们编写了这套工人技术读本。

这套工人技术读本分《甘蔗压榨》、《蔗汁亚硫酸法澄清》、《蔗汁碳酸法澄清》、《糖汁蒸发》、《糖膏煮炼与助晶》和《糖膏分蜜与干燥》六册。本书力求结合实际，较系统地介绍各工序的工艺原理、设备结构、操作方法和有关计算。参加编写的单位有：中山糖厂、江门甘蔗化工厂、顺德糖厂等。

本书在编写过程中，广泛地征求了生产工人的意见。写出初稿后又组织了糖厂的技术人员、工人、和干部进行了认真地、反复地审查和修改。但由于时间短促，资料收集不够全面，先进经验的总结有一定的局限性，加上我们的水平所限，书中难免有缺点和错误，希望读者批评指正。

广东省糖纸食品工业公司

1975年12月

目 录

第一章 蒸发与蒸发流程	1
第一节 蒸发的含义及名词解释.....	1
第二节 蒸发站的任务.....	10
第三节 蒸发站的流程.....	11
第二章 蒸发的基本原理	17
第一节 传热的原理.....	17
第二节 蒸发罐的性能.....	21
第三节 温度损失和传热温度差.....	30
第四节 多效蒸发.....	37
第三章 蒸发设备及其附属装置	40
第一节 蒸发罐的型式和构造.....	41
第二节 蒸发罐的构件.....	51
第三节 蒸发罐的附属装置.....	65
第四节 蒸发罐在停机期的防锈.....	77
第四章 蒸发罐的操作	80
第一节 低液面五定操作.....	80
第二节 真空蒸发罐的操作要点.....	82

第三节	压力蒸发罐的操作要点·····	86
第四节	转停罐操作要点·····	89
第五节	煮洗罐操作要点·····	91
第六节	不正常情况和事故处理·····	92
第七节	生产安全要点·····	98
第五章	糖汁在蒸发过程中的化学和物理变化·····	100
第一节	蔗糖的转化·····	100
第二节	酸值的变化·····	103
第三节	色值增加·····	106
第四节	纯度的变化·····	107
第五节	加强技术管理, 减少蒸发过程中糖汁的 变化·····	108
第六节	蒸发罐的走糖·····	112
第七节	积垢的生成及其清除·····	115
第八节	管外油垢和铁锈的清除·····	132
第六章	蒸发的热方案·····	133
第一节	蒸发的各种热方案·····	133
第二节	努力节省蒸汽耗用量·····	147
第七章	常用的蒸发工艺计算·····	152
第一节	总蒸发水量的计算·····	152
第二节	任一效蒸发罐水量和浓度的计算·····	153
第三节	蒸汽用量的计算·····	155
第四节	节省蒸汽用量的计算·····	158
第五节	蒸发效能的计算·····	162

第六节	蒸发罐加热面积的计算·····	164
第七节	糖汁在蒸发罐停留时间的计算·····	166
第八节	糖汁比热的计算·····	167
第九节	蒸发站热平衡核算·····	169
附表	·····	173
附表 1	饱和水蒸汽表 (变数为温度) ·····	173
附表 2	饱和水蒸汽表 (变数为压力) ·····	174
附表 3	低于大气压下饱和蒸汽的压力与温度 对照表·····	176
附表 4	盐酸比重表·····	177
附表 5	氢氧化钠溶液比重表·····	178
附表 6	碳酸钠溶液比重表·····	179

第一章 蒸发与蒸发流程

第一节 蒸发的含义及名词解释

从甘蔗中提取出来的蔗汁，经过澄清处理后，所得的清净糖汁是一种浓度约为 $13\sim 15^{\circ}\text{Bx}$ 的糖液，必须在多效蒸发罐中加热蒸发除去大量的水分，浓缩至浓度为 60°Bx 左右的糖浆后，才能适应煮糖的需要。

物理学中的分子运动学说告诉我们，当水溶液受热时，靠近加热面的溶剂（水）分子获得动能，克服了分子间的吸引力，便成为汽体从液面上跑出，这种由液态的水变为气态的水蒸汽，就是汽化现象。在沸腾状况下，汽化速度快，故糖汁的浓缩大都在沸腾条件下进行，这种受热沸腾而形成剧烈的汽化过程就叫做蒸发。

由蒸发而生成的蒸汽，若不能及时除去，蒸汽与溶液便渐趋于平衡，蒸发就不能继续进行，所以连续蒸发必须具备的条件是：不断供给热能和不断排除所生成的蒸汽。

热能的供给可采用直接或间接加热方式。热源的种类很多，有水蒸汽、高沸点液体及其蒸汽和烟道气等，糖厂的蒸发站一般采用水蒸汽作热源和应用间接加热方式使糖汁进行蒸发。

为了进一步说明蒸发的原理，下面先将有关的名词术语作简要的解释。

1. 沸点

在一定的压力下，溶液沸腾时的温度叫做沸点。水和其他溶液的沸点，并不是固定不变的，它受液体所受压力的影响（糖液的沸点还受浓度的影响）。压力愈大，沸点就愈高；压力愈小，沸点就愈低（图1-1）。

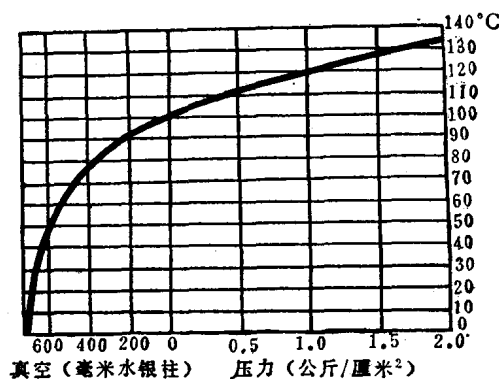


图1-1 水的沸点与压力的关系

根据沸点受压力影响的原理，利用抽真空减压的办法，就可降低糖汁的沸点，实现真空蒸发，保证糖浆的质量，同理，利用增大第一效入汽压力的办法，就可以提高糖汁的沸点，实现压力蒸发，为抽出汁汽制造有利的条件，从而节省蒸汽的用量。

2. 压力

在单位面积上所承受的力称为压力。水蒸汽在密闭容器中，在各个方向都有一种向外的推力，容器内每单位面积上所受到的这种推力叫做蒸汽压力。

大气中的空气压力，叫大气压力。

在实际生产中，多用工业大气压来表示压力，一个工业大气压等于容器的1平方厘米面积上承受1公斤的力，相当于735.6毫米汞柱高度，也相当于10米的水柱高度。

压力也可用物理大气压表示，一个物理大气压等于1.033公斤/厘米²，相当于760毫米汞柱高度，也相当于10.33米的水柱高度。

我们常指的压力有两种，一种是表压力，另一种是绝对压力。用压力表测出的压力就是表压力，它是指压力大于大气压力的数值，或叫做“余压”。绝对压力是压力表上指示的压力加上大气压力，也叫做“全压”。所以：

$$\text{绝对压力} = \text{表压力} + \text{大气压力}$$

如不需要很准确计算，大气压力用1公斤/厘米²表示，于是

$$\text{绝对压力} = \text{表压力} + 1$$

例如：表压力为0.8公斤/厘米²时，

$$\text{绝对压力} = 0.8 + 1 = 1.8 \text{ 公斤/厘米}^2$$

3. 真空

在完全没有压力或压力低于一个大气压力的状态，叫做真空。

真空有两种情况。一种叫“完全真空”（绝对真空），是指在空间中完全没有任何空气或蒸气存在的状态；另一种叫“未尽真空”，是指从空间中抽出一部分空气后的状态。

真空度的大小一般用汞柱表示，它是通过真空表或水银计量度的，真空度是容器外的大气压与容器内的绝对压力的差数，真空度愈大，绝对压力就愈小。于是：

真空度 = 大气压力 - 绝对压力

或者，绝对压力 = 大气压力 - 真空度

例如：650毫米汞柱的真空度，相当的绝对压力为：

$$1 - \frac{650}{760} = 0.15 \text{ 公斤/厘米}^2$$

4. 饱和蒸汽

将水加热至沸点后，由于产生蒸发作用而在沸水表面上形成的蒸汽，叫做饱和蒸汽。它的温度等于该压力下沸水的温度。

在蒸汽锅炉中未经过热管加热处理而产生的蒸汽是一种饱和蒸汽，因此饱和蒸汽又叫做湿蒸汽。

5. 过热蒸汽

在一定的压力下，将饱和蒸汽继续加热，使它的温度超过沸水的温度，所得的蒸汽，叫做过热蒸汽。

透平机或蒸汽机的废汽都属于过热蒸汽。

用过热蒸汽作蒸发罐热源时，它对管壁的给热系数比饱和蒸汽低得多，同时，在近加热管口的一部分加热面又用于降低过热蒸汽的温度，因此，过热蒸汽的传热系数不高。所以，除了动力设备和分蜜机采用过热蒸汽外，蒸发罐和其他用汽部门宜采用饱和蒸汽作为热源。

6. 加热蒸汽

在多效蒸发罐中，加入第一效用来蒸发糖汁用的蒸汽，叫做加热蒸汽。生汽（未作功的蒸汽）和废汽都可作为加热蒸汽使用。

7. 二次蒸汽

糖汁在蒸发罐中受热沸腾时，由于蒸发水分所生成的蒸汽，叫做二次蒸汽。糖厂习惯上叫做汁汽。

从蒸发罐中抽出部分或全部二次蒸汽(汁汽)供加热器和煮糖罐或其他容器使用时,所抽出的蒸汽就叫做额外蒸汽。

在多效蒸发罐中,前效的二次蒸汽作为下一效的加热蒸汽,汁汽经过多次利用,便可达到节省蒸汽的目的。

8. 显热

显热又叫做液体热,它是液体在不发生物态变化的条件下,升高或降低温度时所吸收或放出的热量。比如,1公斤水从 20°C 升高至 100°C ,需要吸收的显热为80千卡。水的显热在数值上等于它的温度。1公斤 80°C 的热水,它的显热就是80千卡。饱和蒸汽的显热在数值上也等于蒸汽的温度,1公斤 100°C 的饱和蒸汽,它的显热是100千卡。

9. 潜热

潜热又称汽化热,它是指液体或蒸汽在发生物态变化时所吸收或放出的热量,水在沸点下蒸发成蒸汽所吸收的热量,或蒸汽凝结成同温度的水放出的热量,都叫做潜热。例如在1大气压下,1公斤温度为 100°C 的沸水要变成 100°C 的蒸汽,就需吸收539.4千卡的热量,这个热量就是汽化潜热。

这里还要指出,在不同压力下,由于水的沸点不同,汽化潜热也有所不同。例如,在一个大气压,温度为 100°C 的状况下,水蒸发成蒸汽的潜热为539.4千卡/公斤,在1.461大气压和温度为 110°C 的状况下,水蒸发成蒸汽所需的潜热为533.1千卡/公斤。

饱和蒸汽的显热和潜热可从饱和蒸汽表查出。

10. 热含量

热含量简称为热焓。它是蒸汽的一种热工参数,表示蒸汽含有的总热量。

液体的热含量等于它的显热的数值,在常压下水的热含

量基本等于水的温度的数值。

饱和蒸汽的热含量等于它的显热和潜热的和，即：

饱和蒸汽的热含量 = 显热 + 潜热

过热蒸汽的热含量等于蒸汽的热含量与蒸汽的显热的和，即：过热蒸汽的热含量 = 蒸汽热含量 + 蒸汽显热

11. 比热

所谓比热，就是指某一单位重量的物质，温度提高 1°C 所需的热量。

不同的物质有不同的比热。水的比热为 $1\text{千卡/公斤}\cdot^{\circ}\text{C}$ ，蔗糖的比热为 $0.301\text{千卡/公斤}\cdot^{\circ}\text{C}$ 。糖汁的比热与浓度有关，浓度愈高时，比热就愈低，如 20°Bx 糖液的比热为 $0.8602\text{千卡/公斤}\cdot^{\circ}\text{C}$ ，而 50°Bx 糖液比热则为 $0.7213\text{千卡/公斤}\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

12. 自蒸发

当溶液所受的压力降低时，它的沸点就相应降低。由于这时溶液的沸点低于它的温度，于是便放出它的剩余热量，使其中的部分水分蒸发，直至溶液的温度下降至与降低后的压力相适应的温度为止，这就是自蒸发。

例如，在蒸发过程中糖汁从前一效罐进入后一效罐时由于压力的降低，沸点也随着降低，这时糖汁便把所含的剩余热量放出，于是产生自蒸发作用。浓缩罐就是利用自蒸发原理把糖汁进一步蒸浓的装置。各效蒸发罐都会产生自蒸发作用（第一效入罐糖汁如果不是超过沸点入罐，就不会产生自蒸发现象）。根据自蒸发原理，可将温度较高的汽凝水进行自蒸发，所生成的二次蒸汽再加以利用，可达到节省用汽的目的。

13. 糖锤度

用 Brix 氏比重锤度计测得的糖液的蔗糖重量百分数称

糖锤度。它是糖厂专用的浓度单位，以符号“Bx”表示。如为不纯糖溶液（糖液中含有其他杂质），则糖锤度表示糖液中干固物的重量百分数。

例如100公斤不纯糖液的浓度为 15°Bx ，就是说在糖液中含有15公斤干固体（蔗糖和非糖分）和 $100 - 15 = 85$ 公斤水；如100公斤纯糖溶液的浓度为 15°Bx ，表示糖液中含有15公斤蔗糖和85公斤水。

糖锤度随温度而变，温度愈高，糖锤度愈低，温度愈低，糖锤度愈高。为便于比较，通常我们采用更正的糖锤度，表示糖液的浓度（把在某温度下测得的糖锤度换算为 20°C 时的糖锤度）。

14. 蔗糖分

蔗糖是一种碳水化合物，分子式为 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ，它是甘蔗和成品糖的主要成分。糖品中含蔗糖的百分数叫做蔗糖分。清净汁中的蔗糖分为11.95，表示在100公斤糖汁中，有11.95公斤蔗糖。

15. 还原糖分

还原糖是葡萄糖和果糖的一种混合物。蔗糖转化后也可以生成还原糖，所以还原糖又叫做转化糖。糖品中还原糖及其他还原性物质的重量百分数叫做还原糖分。

在蒸发过程中，应尽可能减少还原糖的生成和破坏，才能增加糖分收回和提高中间制品的质量。

16. 纯度

根据干固体测定方法和蔗糖分表示方法的不同，纯度可分为简纯度、重力纯度和真纯度。从准确性来说，以真纯度为最真实，但分析手续繁琐，极少采用。在日常生产中多用简纯度和重力纯度表示纯度。简纯度虽比真纯度的准确性差

一些，但分析简便。

(1) 简纯度 表示糖锤度(或干固物)中转光度的重量百分数。

$$\text{简纯度} = \frac{\text{转光度}}{\text{糖锤度}} \times 100$$

例如，糖浆的糖锤度为 60.08°Bx ，转光度为52.29则

$$\text{简纯度} = \frac{52.29}{60.08} \times 100 = 87.03$$

(2) 重力纯度 表示糖锤度(或干固物)中蔗糖的重量百分数。

$$\text{重力纯度} = \frac{\text{蔗糖分}}{\text{糖锤度}} \times 100$$

例如，糖浆的糖锤度为 60.08°Bx ，蔗糖分为52.48，则

$$\text{重力纯度} = \frac{52.48}{60.08} = 87.35$$

(3) 真纯度 表示真干固物中蔗糖的重量百分数。

$$\text{真纯度} = \frac{\text{蔗糖分}}{\text{干固物}} \times 100$$

17. 酸值 (pH值)

酸值又叫 pH 值，是表示溶液中氢离子 (H) 浓度的负对数。

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} = -\log[\text{H}^+]$$

在任何水溶液中，氢离子浓度与氢氧离子 $[\text{OH}^-]$ 浓度的乘积等于常数。

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1/10^{14} = 10^{-14}$$

在中性溶液中，氢离子 $[\text{H}^+]$ 浓度与氢氧离子浓度相等 ($\text{H}^+ = 1/10^7 = 10^{-7}$, $\text{OH}^- = 1/10^7 = 10^{-7}$)，酸值为

$$\text{pH} = \log \frac{1}{(\text{H}^+)} = \log \frac{1}{10^{-7}} = 7$$

氢离子浓度大于氢氧离子浓度, 即 pH 值小于 7, 就是酸性溶液。氢离子浓度愈大, pH 值就愈小, 溶液的酸性就愈强。

氢离子浓度小于氢氧离子浓度, 即 pH 值大于 7, 就是碱性溶液。氢离子浓度愈小, pH 值就愈大, 溶液的碱性就愈强。

因此, 可用酸值表示溶液的酸碱性质, 溶液的 pH 值 = 7.0 为中性, pH 值在 7.0~14 为碱性, pH 值在 7.0~0 时为酸性。

表1-1 溶液性质与 pH 值大小的关系

pH	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
溶液性质	←—— 酸性 ——→						中 性	←—— 碱性 ——→							

在酸性范围内, pH 值愈低, 酸性愈强; 在碱性范围内, pH 值愈高, 碱性愈强。

18. 钙盐

表示糖液中可溶性钙镁盐的重量百分数。为便于比较, 消除糖液浓度不同的影响, 生产上通常用糖液中可溶性钙镁盐对干固物的重量百分数来表示。

钙盐在制糖生产中是一种有害的非糖分, 是形成蒸发罐积垢的主要成分。

19. 色值

表示糖品色泽深浅程度的一种数值, 糖厂用色度计 (具有标准斯丹默色度玻片) 测定。当液柱的深度为 100 毫米而与两块标准的玻片颜色相同时, 此糖液的色值就等于 1 个斯丹默度, 色值通常用以下公式表示:

$$\text{色值} = \frac{S \times I_t}{I_s \times B_x \times d} \times 100$$

式中 S——标准色液的色值（斯丹默）

I_t ——样液的光密度

I_s ——标准液的光密度

B_x ——样液更正糖锤度（20°C）

d ——样液比重（相当于观测糖锤度的比重20°/20°C）

为了比较糖液的色值而不受浓度的影响，把色值换算为以100分干固物作基础就比较合理。

第二节 蒸发站的任务

（一）糖汁的浓缩

蔗汁在澄清过程中，由于加灰和滤泥洗涤的影响，受到一定程度的稀释，结果清汁的浓度比蔗汁有所降低，一般进入蒸发罐的清净糖汁浓度约为13~15°B_x，经过多效蒸发浓缩成为55~60°B_x的糖浆。

从蒸发站出来的糖浆，必须保持浓度稳定，以适应煮糖生产的需要。糖浆太稀，会增加耗汽量及煮糖时间；糖浆太浓，会使结晶操作不易控制、硫熏困难和积垢增多。此外，还会在贮箱及管路中生成结晶的危险。

（二）汁汽的使用

蒸发站不仅是担负着浓缩糖汁的任务，还要利用在蒸发过程中产生的汁汽，供加热和煮糖使用，以降低用汽量。

蒸发站是糖厂热系统的中心，它既是糖厂高压蒸汽的消费者，又是糖厂低压蒸汽的供应站。为了节省用汽，不仅在采用压力蒸发系统的糖厂普遍全面抽出汁汽供加热和煮糖使

用，而且在采用真空蒸发罐的大型糖厂和部分中型糖厂中，也普遍有抽出汁汽的设施，不过抽出汁汽的数量小于压力蒸发罐，温度也较低。

（三）汽凝水的使用

蒸汽和汁汽在蒸发罐加热器和煮糖罐使用后，由于把它的潜热传给了糖汁或糖浆，结果本身即凝缩成为具有相当温度的汽凝水。根据蒸汽和汁汽压力的不同，所得的汽凝水分别经排水器进入各个热水贮槽中，作为入炉水或工艺过程用水。一般来说，加热蒸汽的汽凝水，即从第一效蒸发罐排出的汽凝水因质量较好而重新送回锅炉使用，其他各效罐汽鼓的汽凝水则作为工艺过程的用水，在必要时，第一效汁汽的汽凝水，即从第二效汽鼓排出的汽凝水亦可作为入炉水的补充水源，但必须在保证水质的前提下才允许这样做。

（四）减少糖分损失，保证糖浆质量

从工艺和操作上稳定入罐清汁的酸值，降低蒸发温度和缩短糖汁在蒸发罐内的停留时间，以及尽量减少走糖，对减少蔗糖转化而造成糖分损失，减少还原糖分解及蔗糖焦化而造成糖浆的色值增加。同样也是蒸发站的任务之一。

第三节 蒸发站的流程

糖厂的蒸发站是由若干个蒸发罐组成的一种多效蒸发装置，可分为真空蒸发和压力蒸发两种系统。真空蒸发系统以四效和五效蒸发最为普遍，压力蒸发系统则以带浓缩罐的三效压力蒸发为代表。甜菜糖厂一般采用压力蒸发罐，而甘蔗糖厂多用真空蒸发罐。

在各种蒸发流程中，加热蒸汽只通入第一效，其余各效