

年产10,000—15,000m³蔗渣碎料板 干燥机组设计初探

赵玉和

(四川东华机械厂)

一、蔗渣碎料干燥过程简述

用蔗渣制造刨花板是糖厂开展综合利用,提高经济效益的有效途径之一。榨糖以后新鲜蔗渣含水率在40—50%左右,堆放2~3个月以后下降为30%左右。施胶前的含水率应控制在5%左右,故对蔗渣要进行干燥处理。

干燥方式按传热形式可以分为热传导干燥、对流干燥、幅射干燥等。工业上常用气流干燥,它既是传热过程,又是传质过程。

气流干燥的必要条件是湿蔗渣表面的水蒸汽压强大于热空气中水蒸汽的分压,压差越大干燥过程就越快。

二、干燥机组的物料、能量平衡及干燥时间的确定

1. 干燥工艺流程设计的基本参数

蔗渣碎料干燥过程主要参数有蔗渣处理量、进料含水率、进料温度、干燥后蔗渣的含水率,冷空气进干燥机组的状态如温度、压力、相对湿度,加热方式如热源、温度、压力等。

上述参数有些是工艺设计要求达到的目标,有些要选定,有些要通过物料及能量平衡计算分析比较后确定。

2. 物料及能量平衡

干燥机组的物料平衡 $G = G_0 + W$

式中: G —进料量(公斤/小时),

G_0 —绝干料量(公斤/小时)

W —蒸发水量(公斤/小时)。

干燥机组能量平衡比较复杂,需进行一系列的传热计算。干燥机组示意图见图1。

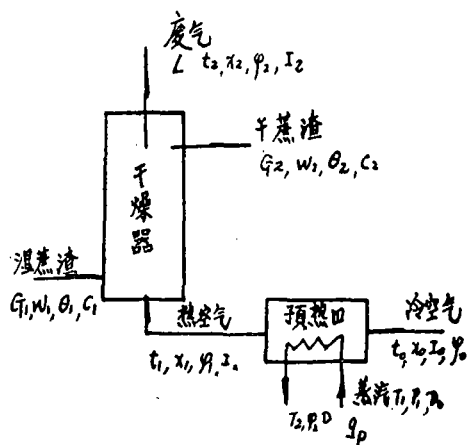


图1 干燥机组物料及能量平衡计算用示意图

计算步骤如下:

a. 空气在预热器中由 t_0 加热到 t_1 所需的热量 $q_0 = h(0.24 + 0.49x_0)(t_1 - t_0)$ (千卡/小时)。

式中: h —干空气量(公斤空气量/小时)

x_0 —冷空气湿度(公斤水汽/公斤干空气)

t_1 —空气加热以后的温度(℃)

t_0 —空气进干燥机组前温度(℃)

预热器及管道与周围大气有热交换存在,故应考虑热损失 q' (千卡/小时),故所需热量 q_s 应为:

$$q_s = q_0 + q' \text{ (千卡/小时)}$$

b. 从干燥机组出去的热量

(i) 湿蔗渣中的水分由温度 θ_1 加热到 t_2 并蒸发所带出的热量 $q_1 = w (i_2 - \theta_1)$ (千卡/小时)

式中: w —水分蒸发量 (公斤/小时)

i_2 —水汽离开干燥机组时的热焓值为
 $595 + 0.46t_2$ (千卡/公斤水汽)

θ_1 —进干燥机组湿蔗渣的温度

(ii) 将湿蔗渣由 θ_1 加热到 θ_2 所需的热量
 $q_2 = G_s \cdot C_m (\theta_2 - \theta_1)$ (千卡/小时)

式中: G_s —绝干蔗渣量 (公斤/小时)

θ_2 —绝干蔗渣出口温度 (°C)

C_m —蔗渣的比热 (千卡/公斤·°C)

$C_m = C_s + C_w \cdot C_2$

C_s —绝干蔗渣的比热 (千卡/公斤·°C)

C_w —水的比热 (千卡/公斤·°C)

C_2 —干蔗渣的含水量

(iii) 干燥器的热损失 q_3 (千卡/小时)

(iv) 随废气带走的热量 $q_4 = h(0.24 + 0.46x_0)(t_2 - t_0)$ (千卡/小时)

设干燥过程是稳定的传热系统, 则可认为干燥系统所需的热量等于带出系统的热量与热损失的总和。即: $q_0 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$ (千卡/小时)

根据热量平衡可以了解能量利用完善的程度, 计算理论干燥效率, 分析空气在干燥过程中湿度和温度的变化, 计算干空气的需要量以及蒸汽的需要量。另外各项参数应反复计算, 适当调整部分参数以求得最佳工况。

3. 干燥速率与干燥时间的确定

蔗渣干燥过程可以分成二个阶段:

a. 恒速干燥阶段

这阶段蔗渣中自由水含量较高, 受热汽化达临界含水率。这阶段中水分由蔗渣内部迁移到表面的速率大于蔗渣表面水分汽化的

速率。其传热微分方程为: $\frac{d\theta}{d\tau} = \alpha (t -$

$t_w)$ (千卡/米²·小时), 其传质微分方程:

$\frac{dw}{d\tau} = K_x (X_w - X)$ (公斤/米²·小时)

式中:

θ —由热空气传给湿蔗渣的热量 (千卡)

τ —时间 (小时)

W —湿蔗渣中汽化进入空气中的水分 (公斤)

α —空气对湿蔗渣的放热系数 (千卡/米²·小时·°C)

t —空气温度 (°C)

t_w —湿蔗渣的表面温度 (湿球温度) (°C)

K_x —表面传质系数 (公斤/米²·小时· Δx)

X —空气的湿度 (公斤水/公斤干空气)

X_w —温度为 t_w 时空气的饱和湿度 (公斤水/公斤干空气)

在恒速干燥阶段 $\frac{d\theta}{d\tau}$ 和 $\frac{dw}{d\tau}$ 为常值, 故

$\alpha (t - t_w)$ 和 $K_x (X_w - X)$ 亦保持不变, 即热空气传给湿蔗渣的热量等于湿蔗渣中水分的汽化潜热。即:

$d\theta = r_w \cdot dw$ (千卡)

式中: r_w —在 t_w 温度下水的汽化潜热 (千卡/公斤)

恒速干燥阶段的干燥速率表达式如下:

$[\mu] = K_x (X_w - X) = \frac{\alpha}{r_w} (t - t_w)$ (公斤/米²·小时)

由 $[\mu]$ 可见干燥速率可以由传热系数 α 来求取。在蔗渣干燥过程中, 蔗渣悬浮在气流中, 热空气与蔗渣之间的传热系数 α 可以按下式求取:

$\alpha = \frac{Nu \lambda_g}{d_p}$

式中: $Nu = 2 + 0.54R_o^{0.5}$

$R_o = \frac{d_p \cdot W_t}{\nu_g}$

d_p —蔗渣颗粒的当量直径 (米)

λ_g —空气的导热系数 (千卡/米·小时·°C)

W_t —蔗渣颗粒的沉降速度 (米/秒)

$W_t = (W_g - 3)$ (米/秒)

W_g —气流速度 (米/秒)

ν_g —空气的运动粘度 (米²/秒)

由上述公式可见影响恒速干燥阶段干燥速率的主要因素是 α 、 K_x 、 $(t-t_w)$ 、 (X_w-X) 等。提高输送气体的温度和降低空气的湿度则有助于传热动力 $(t-t_w)$ 和传质动力 (X_w-X) 的增大,同样增加气流速度 W ,可使 α 和 K_x 增加。在蔗渣碎料板的干燥机中为了节约能源,提高干燥效率,应该有目的地提高气流速度,提高进口热空气的温度和降低空气的湿度。同时还应注意气流速度的提高,流动阻力增加造成风压降低,故这些参数必须要在生产实践中不断总结以达最佳的操作工况。

b. 降速干燥阶段

这一阶段中水分从蔗渣内部向表面迁移的速度低于蔗渣表面的汽化速度,含水率由临界状态逐渐到达平衡含水率。降速阶段干燥速度由下式表示: $\mu = - \frac{G_c}{F} \cdot \frac{dc}{dl}$

(公斤/米²·小时)

干燥速率 μ 随着含水量 C 和时间 t 而变化。水分由蔗渣内部向外迁移仅与外界的热空气

温度有关,其他条件不影响降速阶段的干燥速率。但与蔗渣本身的形状、大小有关。在达到平衡含水率时干燥速度降为“0”。水分在蔗渣中的迁移主要靠毛细管作用,故这阶段需控制蔗渣的形状及大小,使之有利于水分迁移。

c. 临界含水率和平衡含水率的确定

新鲜蔗渣经榨糖以后,蔗渣含水率在50%左右,堆放三个月以后降到25%—30%。蔗渣纤维粗细不均,在备料阶段已进行了筛选,以12目—45目的蔗渣作为碎料板的原料。由于蔗渣没有做过含水率试验,故只有根据粗纤维(50目左右)的含水率曲线确定 $C^* = 20 \sim 30\%$ 。

关于临界含水量,我们设计中暂取为10%,在系统物料、能量平衡的基础上尚需在生产实践中进一步验证。

三、干燥机组工艺流程

1. 干燥机组工艺流程见图2

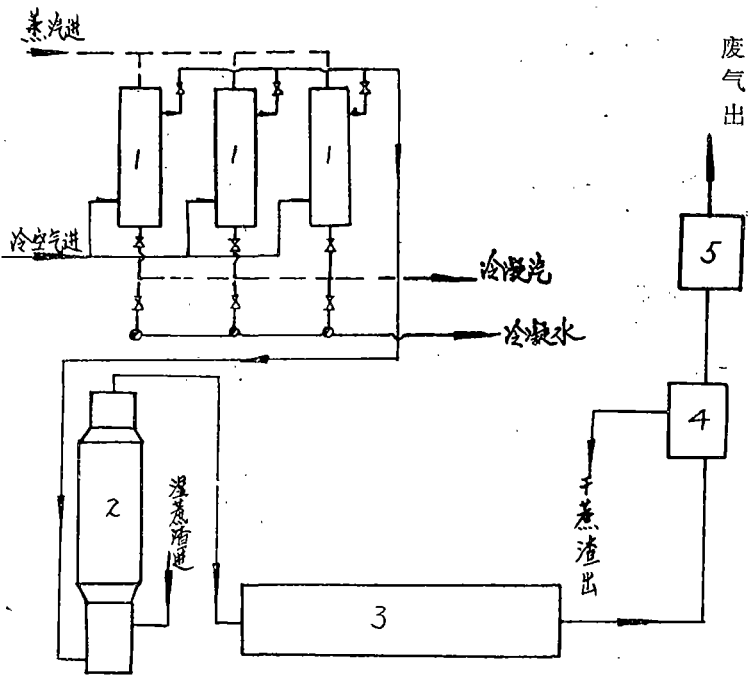


图2 年产10,000~15,000米³蔗渣碎料板干燥机组
工艺流程示意图

1. 空气预热器 2. 主干燥器 3. 三级圆筒干燥机 4. 旋风分离器 5. 风机

2. 流程简述

冷空气经预热器加热到180℃(热源为蒸汽, 194℃), 热空气进入主干燥器底部, 湿蔗渣从上侧同时进入, 在气流输送过程中湿蔗渣不断与热空气进行热交换, 蔗渣中的水分不断迁移, 空气湿度增加, 在主干燥器中蔗渣的含水量达到临界值, 这阶段为恒速干

燥阶段。蔗渣被热空气继续输送到三级圆筒干燥器的内筒, 三级圆筒分三层, 干燥时间由气流速度及圆筒的转速而定, 这阶段为降速干燥过程, 干燥到平衡含水率, 蔗渣出三级圆筒时含水率为2—4%, 经旋风分离器分离后干蔗渣进入下道工序, 湿空气由风机排出机组。

3. 工艺流程计算结果

计算项目及选定基本参数:		计算结果
进料含水率 C_1	(%)	30 干基
出料含水率 C_2	(%)	2 干基
进料温度	(°C)	20
处理蔗渣量 G	(kg/h)	2000
主干燥器蒸发水量 W'	(kg/h)	308
三级圆筒蒸发水量 W''	(kg/h)	123.2
蒸发 W' 水分所需热量 q'_1	(kcal/h)	191268
蔗渣温度由 θ_1 升到 θ_2 所耗热量 q''_2	(kcal/h)	19250
热损失 q'_3	(kcal/h)	10000
主干燥器总耗热量 $\Sigma q' = q'_1 + q'_2 + q'_3$	(kcal/h)	220518
三级圆筒蒸发水量 W'' 所需热量 q''_1	(kcal/h)	71599.53
三级圆筒中蔗渣升温所耗热量 q''_2	(kcal/h)	9540.3
三级圆筒热量损失 q''_3	(kcal/h)	10000
三级圆筒总耗热量 $\Sigma q'' = q''_1 + q''_2 + q''_3$	(kcal/h)	91139.83
进口空气状态: 温度	(°C)	20
压 力		常压
相对湿度	(%)	60
含湿量 x_0 (查I-X图)	(kg水汽/kg干空气)	0.009
所需空气量 (M^3 干气/h)		11290.55
三级圆筒出口状态		
出汽含湿量	(kg水汽/kg干空气)	0.04719
出口蔗渣量	(kg/h) (干料)	1570.79
空气预热后带入的热量	(kcal/h)	476669.6
干燥器热效率	(%)	70.15
干燥效率 (理论)	(%)	61.3
蒸汽消耗量	(kg/h)	1007.76
蒸汽进口状态 温度	(°C)	194
压力	(kgf/cm ²)	13
选用风机排量	(NM ³ /h)	15600
风压	(mmH ₂ O)	326

4. 干燥系统的控制与调节

干燥机组能否稳定运转对蔗渣刨花板的质量影响较大。影响干燥机组的主要因素有

空气的温度、压力、流量, 湿蔗渣的含水量等, 而空气的温度主要受热源蒸汽的影响。为了控制这些参数, 我们设计了三个调节系

统，即蒸汽进预热器前的调节、空气量调节和蒸汽进三级圆筒进口处调节。如蔗渣在三级圆筒出口处含水率超过2—4%，则应打开蒸汽通往预热器的调节阀，同时关小空气排出调节阀，因风机排量与蔗渣物料有一定的关系，即风送容量要达设计要求，故调节时应互相照应。三级圆筒进口处设调节装置，是直接到蒸汽加热进口管，使物料和热空气的温度进一步升高，有利于降速干燥阶段水分从蔗渣中迁移出来。

干燥机组设置仪表盘，集中控制、显示记录各点有关的温度与压力，同时还设置就地仪表能连续测定流量等。根据水分检测仪反馈的信息，三个调节装置均可自动调节。

四、几种干燥方式比较

目前刨花干燥的方法可分成三种

1.接触供热机械传动干燥，2.对流供热机械传动干燥，3.对流供热气流输送干燥。

本干燥机组属第三种型式，具有热效率高，结构简单等优点。但国外常以燃气作热源，温度高达400—500℃，我们采用蒸汽加热空气，多一次热交换损失，效率比直接采用燃气要低些。但减少了高温情况下气流输送中刨花着火的危险，同时板面的质量也较好。

五、干燥机的调试运转

在87年5月该机在鄂南糖厂投入运转。由于鄂南糖厂的蔗渣在露天堆放，试车期间经常下雨，因此初含水量远远高出设计工况，高达52.5%。终含水率与设计工况亦有偏离。实测数据见下表：

日期	蒸汽进预热器状态		空气出预热器	湿蔗渣进口	干燥后蔗渣含水率(%)	
	压力(MPa)	温度(℃)	温度(℃)	含水率(%)	表层干料	芯层干料
5月9日	1.23	195	180	30	3	4
5月12日13:15	1.27	200	181	35	5	5
23:00	1.23	195	180	49	9	7
5月15日16:00	1.23	195	180	43	8	7
5月15日20:00	1.27	198	180	45	7	6
23:30	1.27	200	180	52.5	7	6
5月16日23:20	1.23	195	180	31	4.25	4.25
5月17日2:6	1.27	200	180	34	3	3.25

从实测数据可见，终含水量偏高的原因除湿蔗渣的初含水量太高外，又因该厂绝热材料不够，从圆筒出口到旋风分离器约30 m长的管道没有包扎绝热层，圆筒部分也只有部分包扎，故整个系统的热损失较大。通过试车，该厂已准备采购矿渣棉使干燥系统按图纸要求包扎绝热层。再则要改善蔗渣堆放条件，防止雨水淋湿或采用蒸汽余热进行预干燥以保证达到干燥系统的设计要求的进口状态。

根据干燥机的试车情况以及整条生产线的投产情况可见，气流脉冲及三级圆筒干燥

机能满足生产线的要求，预热器的换热效率稳定达到设计值，如果初含水率符合设计要求，干燥机组的干燥效率和热效率基本均能达到设计要求。

通过试车和投产发现湿蔗渣进口处的密封要严密，否则湿料夹带过多的冷空气对于干燥机组的效率影响较大。我们采用的星形下料器密封橡皮磨损较快，准备采用耐磨而且密封较好的橡胶或聚四氟乙烯等有机材料进一步试验。总的来说干燥机组的设计计算与实际运转的情况是一致的。