

刨花干燥工序关键含水率的确定

孙光瑞

(南京林业大学 南京 210037)

摘要 刨花的干燥质量主要依据最终干燥含水率的偏差、均匀性以及干刨花的破损程度来衡量。本文着重阐述刨花干燥过程中直接决定这些干燥质量因素的关键含水率,以及它们的作用和确定的依据。

关键词 刨花;干燥;含水率

1 前言

刨花板生产过程中的刨花除木材自身带入的水分外,还有在木片热处理、施胶等工序带入的水分。为了维持生产线的正常运行,制造出高质量的刨花板,就必须在施胶工序前(或是在刨花制备以后)设置一道干燥工序排除刨花中的一部分水分,然后进行施胶和热压操作。

刨花的干燥质量一般以最终含水率偏离指标的程度、最终含水率的均匀性以及干燥后刨花破碎情况来评判。优良的干燥质量是通过正确地控制干燥时间(即刨花在干燥机内的停留时间),干燥介质在干燥设备进出口处的状态,干燥介质在干燥设备内的流动速度三项工艺参数来实现的。这些参数的拟定和控制无不直接依据湿刨花的初始含水率、干燥的终含水率、平衡含水率、临界含水率及纤维饱和点。因此,充分了解这几个关键含水率在刨花干燥过程中的作用显然是十分必要的。

2 刨花干燥的关键含水率

2.1 湿刨花的初始含水率 (W_1) 湿刨花初始含水率数值直接反映需要通过干燥排除水分的数量,并且是需要在恒速干燥阶段排除非结合水的数量(见图 1)。就我国目前广泛

采用的转子式刨花干燥机而言,湿刨花的初始含水率偏高;干燥时间应长些,干燥介质的干燥潜力应大些;干燥介质的流速应大些。

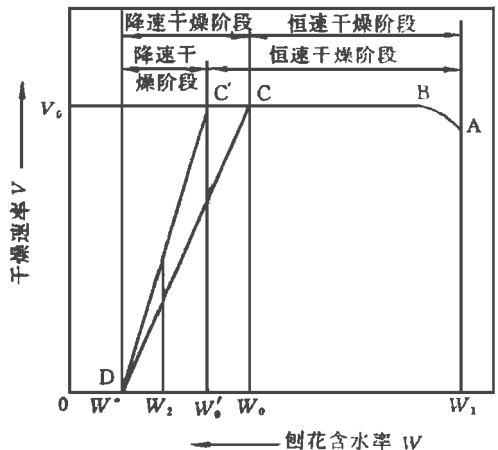


图 1 刨花干燥速率曲线示意图

W_1 —湿刨花的初始含水率(%); W_0 —临界含水率(%); W_0' —纤维饱和点(%); W_2 —干燥刨花的终含水率(%); W^* —平衡含水率(%); V —干燥速率, ($\text{kg 水} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$); V_0 —恒速干燥阶段的干燥速率($\text{kg 水} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$)。

干燥工序对湿刨花的初始含水率要求,首先是要均匀一致,否则干燥工艺参数极难控制,必将导致终含水率不均匀;其次是,初含水率以偏低为好,这样干燥时间短且能耗少。但湿刨花的初始含水率是取决于刨花制备工段,即取决于原料的含水率。为了提高合格刨花的获得率,在刨花制备以前需要对原料含水率进行处理,含水率偏高的原料(如生

材或出河后即制材的剩余物等)在原料堆场气干一段时间后再加工刨花;含水率偏低的原料可进行增湿处理(有时同时加热)。从图2所示实验结果可见制备刨花的原料含水率在40%~80%范围时合格品得率最高,同时由此干燥工序得到了初始含水率均匀一致的湿刨花,兼顾刨花制备和刨花干燥综合因素,原料含水率为以40%~50%最为合适

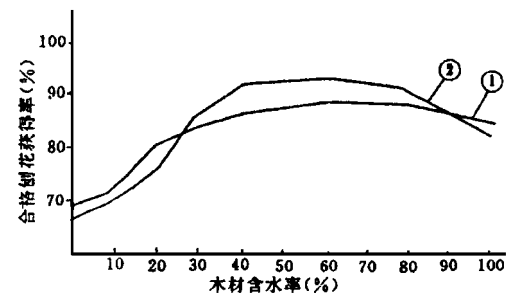


图2 木材含水率与制备刨花的合格品率关系
图中①为常温下木材含水率与合格刨花获得率关系曲线;图中②为60℃时木材含水率与合格刨花获得率关系曲线,合格刨花获得率为每次刨切时所得合格刨花重量占总耗用试材重量的百分率

图2中曲线所示结果的实验情况如下:
试材树种 杨木;
刨花公称尺寸 25 mm×15 mm×0.4 mm;
合格刨花尺寸 长20~25 mm,宽5 mm以上,厚0.2~0.4 mm(机械式筛分时厚度未予考虑);
实验含水率 0, 8, 15, 30, 40, 60, 80, 100%;
实验温度 常温, 60℃;
实验设备 实验用小型长材刨片机, 加工刨花最大长度60 mm

2.2 干燥刨花的终含水率(W_2) 干燥刨花的终含水率(下称终含水率)是干燥工序的加工指标,达到这一指标的准确程度是衡量干燥质量的关键,也是刨花板生产工艺中的重要工艺指标,这是因为它的高低直接决定热压板坯的温度,以及胶粘剂的浓度,和施胶均

匀性;再者,对干燥工序本身而言,终含水率数值大小也直接反映需要在降速干燥阶段排除结合水的数量,因此,它亦是制定和控制工艺参数的主要依据

目前,国外和国内一些引进的刨花板生产线常将终含水率定得极低,是不必要的与不妥的。终含水率应该确定在2%~6%的范围内,在3%~5%的区间内则更为合适,原因在于:

第一,能够维持各个涉及水分工序间的水分平衡关系 所谓水分平衡关系是指保证刨花制造中各个涉及水分工序的最佳操作含水率,同时又不影响其它工序正常运作的一组含水率数值间的约束关系(见表1)

表1 各工序最佳操作含水率

工 序	刨花制备	干 燥	施 胶	热压
含水率(%)	40~60	2~6	10~14	5~11

如上所述,为保证合格刨花获得率,将原料含水率处理在40%~50%。至于终含水率确定在2%~6%内完全是因为在采用60%~63%常规浓度的脲醛树脂胶施胶后,能保证热压板坯的含水率控制在10%~14%区间内,以确保热压过程中树脂胶充分固化的温、湿度环境,而又不出现分层、鼓泡现象,板材性能符合国家标准要求(见表2)。

表2 刨花终含水率与板性能的关系

刨花终含水率(%)	板坯含水率(%)	内结合强度(MPa)	静曲强度(MPa)	厚度偏差(mm)
2.0	8	0.39	15.90	1.01
4.2	10	0.41	18.87	0.93
6.4	12	0.38	21.36	0.79
8.7	14	0.36	21.85	0.61
10.9	16	0.33	20.80	0.53
13.2	18	分层	/	/

表2所列结果的实验材料与条件为:

刨花 杨木机制刨花,宽平形,尺寸25 mm×25 mm×0.4 mm

胶粘剂 脲醛树脂胶(仿中林-64),浓度63%。

固化剂 氯化铵,用量1.2%。

施胶量 12%。

实验刨花板 密度0.65 g/m³,单层结

构,规格 300 mm× 300 mm× 20.5 mm(加砂光余量)。

热压工艺参数 采用 100 t 实验压机,幅面为 400 mm× 400 mm,热压温度 180℃,周期 10 分钟,压力 6 MPa $\xrightarrow{4\text{分钟}}$ 3 MPa $\xrightarrow{3\text{分钟}}$ 1.5 MPa $\xrightarrow{3\text{分钟}}$ 0

第二,节约能耗 刨花干燥时消耗的能量与含水率范围密切相关。表 3 中所列是表 3 三个含水率区段的平均干燥能耗

排除水分范围 (%)	30> 18	18> 6	6> 0
消耗能量 (J/g 水)	84	504	1 176

个含水率区段的平均能耗数值,实际上,当刨花含水率低于纤维饱和点以后,排除水分消耗的能量是随含水率的减小连续增加的。特别是含水率低于 2% 以后,水分存在于纤维素非结晶区内,纤维素大分子的羟基以氢键与其结合(甚至数个羟基与一个水分子结合),排除这部分水分消耗很多能量,因此,终含水率的下限确定在 2% 以下是不经济的。况且,热压时并不希望板坯含水率太低,否则不但板坯内对流传热效应差,热压周期长,同时板子厚度偏差也大。至于终含水率的上限,它与能耗关系不很大,而主要取决于热压板坯对含水率的要求。

第三,减少火灾机率 图 3 是正在进行干燥的湿刨花与干燥介质之间传热、传质示意图。湿刨花进入干燥设备,干燥介质就将热量传递到湿刨花表面,湿刨花表面与中心部位形成温度梯度。热量因此由表面向中心传递。湿刨花表面受热后水分开始蒸发,形成相对中心部分的湿度梯度,在此湿度梯度作用下,中心部分的水分不断向表面扩散并汽化。如终含水率确定或控制得太低特别是为零(见图 4),干燥设备内的刨花需在绝干后才可排出,而此时干燥介质与刨花间的温差仍然存在,传热过程仍在进行,干刨花的温度势必继续上升,只要稍有诱发因素即刻就会着火。仅就此看,干燥终含水率不宜太低,更不宜为零。

2.3 平衡含水率 (W^*) 此处平衡含水率

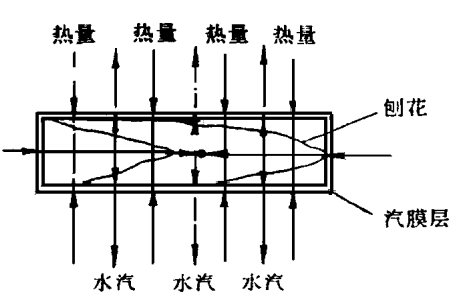


图 3 干燥过程中刨花与干燥介质间传热、传质示意图

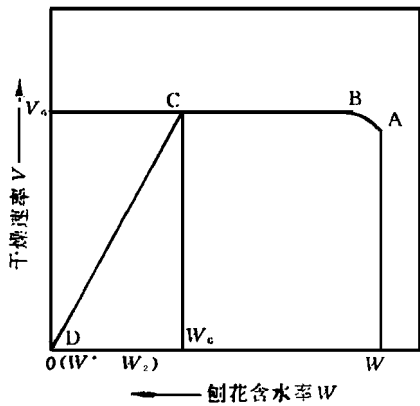


图 4 终含水率为零的干燥速率曲线示意图

是指生产中的平衡含水率。在刨花干燥过程中,干燥介质进入干燥设备后就立即与湿刨花进行热、湿交换,刨花含水率即不断减小。实际操作中只需要控制干燥介质在干燥设备进、出口处的状态,但是必须使干燥介质在干燥设备出口处状态(即废气状态)对应的刨花平衡含水率低于终含水率,以确保当刨花流量变化(主要指增大)时依旧能准确地达到终含水率要求。平衡含水率在刨花干燥过程中的这种约束作用是通过热平衡计算确定干燥介质在干燥设备出口处状态时给予保证的。

干燥设备启动一段时间后即进入稳定运行状态,便可认为干燥过程的热交换是稳定的,由图 5 能够得到以下热平衡算式:

$$q_1 + q_2 = q_3 + q_4 + q_5 + q_6 \quad (\text{kJ}) \cdots \cdots (1)$$

式中 q_1 、 q_2 为输入热量, q_3 、 q_4 、 q_5 、 q_6 为输出热量

输入热量:

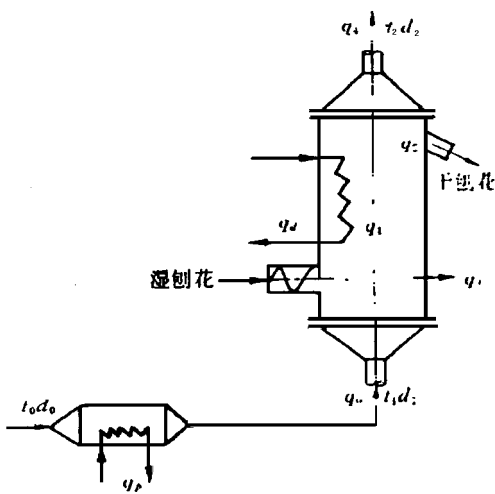


图 5 刨花干燥过程的热量平衡计算示意图

q — 预热器加热冷空气所提供的热量,
 $q = X [(1.005 + 1.863d_0)(t_1 - t_0)]$
 (kJ/h)

式中: X — 单位时间内消耗干热空气数量,
 $X = \frac{G}{d_2 - d_1}$ (kg 干热空气 /h),
 $G = G_0(W_1 - W_2)$ (kg 水 /h);
 d_0, d_1, d_2 — 分别为冷空气、热空气、
 废气的湿度 (kg 水汽 /kg
 干空气);

t_0, t_1 — 分别为冷空气和热空气的温
 度 (K);

G — 单位时间内蒸发水分的数量 (kg
 水 /h);

G_0 — 单位时间内绝干刨花的产量
 (kg 干刨花 /h);

W_1 — 湿刨花的初始含水率 (%);

W_2 — 干燥刨花的终含水率 (%);

1.005— 干热空气比热容 (kJ/kg $^{\circ}$
 K);

1.863— 水汽平均比热容 (kJ/kg $^{\circ}$
 K);

q — 干燥设备内加热器补充的热量 (kJ/h)

输出热量:

q — 干燥刨花时蒸发水分需要的热量,

$$q_1 = G(i_2 - C\theta_1) \quad (\text{kJ/h})$$

式中: θ_1 — 湿刨花在干燥设备进口处的温
 度 (K);

i_2 — 水汽离开干燥设备时的热焓量
 (kJ/kg 水汽);

C — 水的比热容 (kJ/kg $^{\circ}$ K)

即:

$$q = G(2490 + 1.863\theta_2 - 4.187\theta_1) \quad (\text{kJ/kg}^{\circ} \text{ 水汽})$$

q — 将刨花由 θ_1 升温至 θ_2 所需要的热量,

$$q_2 = G_0 \cdot C_m (\theta_2 - \theta_1) \quad (\text{kJ/h})$$

式中: C_m — 刨花的比热容

$$C_m = C_s + C_G^{\circ} W^2 \quad (\text{kJ/kg}^{\circ} \text{ K});$$

C_s — 绝干刨花的比热容 (kJ/kg $^{\circ}$
 K);

C_G — 水的比热容 (kJ/kg $^{\circ}$ K);

θ_2 — 离开干燥设备时刨花的温度
 (K);

q — 干燥设备的热损失,

$$q = (q_1 + q_2)(4\% \sim 10\%) \quad (\text{kg/h}),$$

q — 废气带走的热量

$$q_4 = X [(1.005 + 1.863d_0)(t_2 - t_0)] \quad (\text{kJ/h})$$

式中: t_2 — 废气的温度 (K).

上述 (1) 式可改写为

$$q - q_4 = q_1 + q_2 + q_3 + q_d$$

或

$$X [(1.005 + 1.863d_0)(t_1 - t_2)] = q_1 + q_2 + q_3 - q_d$$

将 $X = \frac{G}{d_2 - d_1}$ 代入上式可得:

$$\frac{t_1 - t_2}{d_2 - d_1} = \frac{q_1 + q_2 + q_3 - q_d}{G(1.005 + 1.863d_0)} \dots\dots\dots (2)$$

(2) 式即为确定干燥介质在干燥设备出口状态 (即废气状态) 的算式。该算式右侧各项可按上述对应计算式计算, 算式左侧是干燥介质在干燥设备进口处的状态参数 (温度 t_1 , 湿度 d_1), 以及出口处的状态参数 (温度 t_2 , 湿度 d_2)。在利用 (2) 式确定 t_2, d_2 之前, 必须首先确定 t_1, d_1 , 其中 d_1 等于冷空气的湿度 d_0 (即 $d_1 = d_0$)。确定 t_1 的方法是, 在不影响刨花的

材质、材色、表面物理、化学性质的前提下,尽可能提高干燥效率,同时顾及能耗不要太大,并参考经验数据确定之。运用(2)式不可以同时计算 t_2 和 d_2 ,还需要先定出 t_2 ,确定的方法在于, t_2 比干燥介质在干燥设备进口处状态的露点温度高出 $20\sim 50^\circ\text{C}$,以防废气在旋风分离器内产生冷凝水而锈蚀分离器。最后验证干燥介质出口状态(t_3 、 d_2)所对应的刨花平衡含水率是否低于干燥工艺要求的终含水率(一般低 $2\sim 3$ 个百分点),假若此约束条件不能满足,就得重新修正 t_3 、 t_2 直至 $W^* < W_2$ 的关系满足为止。

2.4 纤维饱和点(W_0')与临界含水率(W_0)

从干燥角度看,纤维饱和点理应是排除非结合水的恒速干燥阶段与排除结合水的降速干燥阶段的分界点,然而,实际干燥作业中总常是在高于纤维饱和点时进入降速干燥阶段(见图1)。出现这一现象的原因在于,干燥工艺参数(干燥介质的温度、湿度、流速等)与湿刨花的具体状况(尺寸、木材结构、湿刨花的流量等)不相“匹配”。例如,刨花本身的尺寸大(主要指厚度),木材结构致密,进入干燥设备的刨花流量大,而干燥介质的温度偏高,湿度偏低,流速又偏大,结果必将导致水分由刨花内部向表面迁移的速度很快小于在表面的汽化速度,当刨花平均含水率高于纤维饱和点时就进入了降速干燥阶段。两个干燥阶段实际转折点对应的含水率称之为临界含水率。产生临界含水率偏离纤维饱和点的现象是很显然的,降速干燥阶段在整个干燥时间内

占的比例增大,干燥作业难度增大,生产率下降。实际上,只要正确合理地设计干燥工艺参数,准确无误地进行生产操作,临界含水率是可以趋近纤维饱和点的,理论上讲还能够等于纤维饱和点。由此可见,设计(或控制)刨花干燥参数时,除了依据上述三个含水率外,还必须充分考虑临界含水率偏离纤维饱和点的问题。

3 结论

3.1 木材原料含水率在 $40\% \sim 50\%$,制备刨花的合格品率最高,湿刨花含水率均匀一致,干燥后刨花含水率亦相应均匀一致。

3.2 干燥刨花的终含水率确定在 $3\% \sim 5\%$ 的范围内,可以满足脲醛树脂胶最佳操作浓度和热压板坯最佳操作湿度要求,制成的板材的质量高,且不易引发火灾,能耗亦不大。

3.3 干燥介质在干燥设备出口处状态对应的刨花平衡含水率必须低于终含水率(一般低 $2\sim 3$ 个百分点即可),以保证准确达到干燥终含水率要求。

3.4 设计(或控制)干燥工艺参数时必须充分考虑临界含水率偏离纤维饱和点的问题,以使干燥质量和效率最高。

4 参考文献

- 1 朱政贤主编. 木材干燥. 中国林业出版社, 1992
- 2 王补宣著. 工程传热传质学. 北京科技出版社, 1982
- 3 Thomas M Maloney. Modern Particleboard and Dry-process Fiberboard Manufacturing. Miller Freeman Publication, 1977

Determination of Key Moisture Contents in Particle Drying Process

Sun Guangrui

(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

Abstract Drying quality of particle is mainly measured by deviation of end moisture content, uniformity and dried particle breakage. This article addressed the key moisture contents that directly determine drying quality in particle drying process, their functions and defining basis.

Keywords Particle; Drying; Moisture content