

24种南方阔叶树材的干燥特性及窑干基准*

何定华 林文洁

(中国林科院木材工业研究所)

摘要 通过对24种南方阔叶树材进行100℃干燥试验和窑干试验,说明了这些树种的干燥特性,提出了这些树种适宜的干燥基准。试验结果指出,多数树种在实际窑干试验中发生降等的倾向与100℃试验中发生的干燥缺陷是一致的,但少数树种不一致,这些树种的预定干燥条件需要通过多次窑干试验加以修正。

关键词 干燥缺陷; 窑干基准; 初含水率

前言

南方阔叶树材是我国木材资源的重要组成部分。这些木材树种繁多,干燥特性及适宜的窑干工艺除橡胶木等少数树种外,尚未见有研究报导。本项研究拟利用100℃试验和窑干试验,查明这些木材的基本干燥特性,研究合理的干燥基准,供生产厂参考应用。

一、试材与试验方法

所用试材中有19种采自湖南省莽山林场,它们是:

木莲 *Manglietia* sp., 拟赤杨 *Alniphyllum fortunei*, 金叶白兰 *Miche-
lia faveolata*, 枫香 *Liquidambar* sp., 槭木 *Acer* sp., 野漆树 *Toxicodendron
succedanum*, 柿木 *Diospyros* sp., 天目紫茎 *Stewartia gommata*, 桦木 *Betula* sp., 荷木 *Schima superba*, 甜锥 *Castanopsis eyrei*, 桂樟 *Cinna-*

momum sp., 水青冈 *Fagus longipe-
tiolata*, 灰木 *Symplocos* sp., 厚皮
香 *Ternstroemia* sp., 马蹄荷 *Exbuck-
landia* sp., 白青冈、红青冈 *Cyclo-
balanopsis* sp., 桐木 *Lithocarpus*
sp., 其它五种是: 石梓 *Gemelina
arborea*, 米老排 *Mytilania laosensis*,
高山栎 *Quercus semicarpifolia*, 麻栎
Quercus sp., 橡胶木 *Hevea brasi-
liens* 分别由广西大青山林业试验局(前
二种)、四川木里林业局、湖北远安木材厂
和海南省三亚市技术开发公司提供。这些木
材的名称除石梓、米老排、高山栎、橡胶木
4种外,其余20种均由本所材性室刘鹏工程
师鉴定,在此表示感谢。

试验方法基本上采用寺沢真的百度法
(见木材の人工干燥,1983年,及英文本研
究报告等),但100℃试验中增加了径锯板
试样(尺寸仍为20×10×2厘米),还增加了
扭曲(翘角)、干燥速度及弦、径板干燥
速度差异等记载项目。前期开裂中由材面延
伸至材端的开裂和由材端延伸至材面的开裂
合并为一项,统称端表裂,在等级划分标准
中具体规定了各种裂纹的长度、宽度和数
量。详见表1。

本文于1990年1月11日收到。

*参加试验工作的还有王秀琴、陈省兰、孟京
明、王超、何清慧、王文华等同志,唐一夫同志参加
了湖南试材采集工作,李娜同志参加了试验结果整理
工作。

表1 100℃干燥试验中干燥缺陷及干燥速度分级标准

等级	前期开裂	内 裂	材面凹陷	扭 曲	干燥速度
一级	无 (或仅有端面裂纹)	无	不明显 (0.5毫米以下)	不明显 (0.5毫米以下)	快 (10小时以下)
二级	轻微 (短端表裂)	较轻 (4条以下细裂或1条宽裂)	略明显 (0.6—1.0毫米)	略明显 (0.6—3.0毫米)	较快 (11—15小时)
三级	较严重 (长端表裂或劈裂、10条以下短细表裂)	较严重 (宽裂2—4或细裂5—9条或宽裂1—2和细裂3—4条)	显著 (1.1—2.0毫米)	显著 (3.1—6.0毫米)	中等 (16—20小时)
四级	严重 (10条以上短细表裂或5条以下长细表裂或宽表裂)	严重 (宽裂5—8或细裂10—15条或宽裂2—4和细裂5—9条)	严重 (2.1—3.5毫米)	严重 (6.1—9.0毫米)	慢 (21—30小时)
五级	甚严重 (长细表裂5条以上或宽表裂5条以上)	甚严重 (宽裂8条以上或细裂15条以上或宽裂5—8和细裂10—15条)	甚严重 (3.6毫米以上)	甚严重 (9.1毫米以上)	甚慢 (30小时以上)

注: 1.干燥速度按照含水率30%降至5%所需时间划分。

2.裂纹长度等于或小于5cm者为短, 大于5cm者为长, 宽度小于或等于2mm者为细, 大于2mm者为宽。

对窑干试验的初、终期干燥条件也作了一些修改: 对1、2、3级干燥缺陷的干燥温度增高, 对5级则减低, 详见表2。

表2 与干燥缺陷等级相应的干燥条件

干燥缺陷	与干燥缺陷等级相应的干燥条件					
		1级	2级	3级	4级	5级
前期开裂	t ₁	80	70	60	50	40
	Δt ₁	5—7	4—6	3—4	2—3	15—2
	t ₂	95	95	90	80	75
材面凹陷	t ₁	80	70	60	50	40
	Δt ₁	5—7	4—7	3—5	2—4	2
	t ₂	95	90	85	75	70
内 裂	t ₁	80	70	50	40	38
	Δt ₁	5—7	4—7	3—5	2—4	2
	t ₂	95	85	75	70	56

注: t₁—初期温度 (℃);

Δt₁—初期干、湿球温度差 (℃);

t₂—终期温度 (℃)。

窑干试样一般长58cm, 厚2.5cm, 宽8—16 (多数12—13) cm, 四面刨光, 含水率样板两端用硅橡胶封闭。

窑干试验是在小型干燥机中进行的, 少数在大干燥机中进行。小型干燥机采用电加热, 装有蒸汽发生器, 风速可调, 本试验材堆风速采用2m/s, 干燥机内温、湿度用WMZK—01温度指示控温仪控制, 利用玻璃水银温度计指示和记录机内温、湿度, 精度0.5℃。

二、试验结果

(一) 100℃干燥试验

试验的主要目的是查定各种木材的基本干燥特性、各项干燥缺陷的等级指标作为拟定窑干试验基准的依据。除了24种南方阔叶树材外, 还有2种南方针叶树材长苞铁杉 *Tsugo-keteleeria longibracteata*、马尾松 *pinus massoniana* 及2种北方常见的阔叶树材水曲柳 *Fraxinus mandshurica*、柞木 *Quercus mongolica*, 均按上述方法试验。试验结果列于表3。

24种南方阔叶树材前期开裂属于二级 (轻微) 的较多, 材面凹陷三级 (严重) 较多, 内裂二级 (较轻) 较多, 扭曲二级 (略明显) 和三级 (显著) 的较多, 干燥速度多数属二级 (较快)。具体比率见表4。

干燥速度有随木材密度增加而减小的趋势, 但也有例外。表3所列26种阔叶树材中除麻栎、野漆、橡胶木外, 其它23种木材密度与干燥速度的回归方程是:

$$y = 3.6439 - 3.0046D, r = 0.6167$$

式中y为干燥速度 (%/小时); D为基本密度 (kg/m³)。野漆和橡胶木密度均属中等, 但野漆干燥甚慢, 而橡胶木干燥甚快, 属特殊情况。

前期开裂主要由干燥应力引起, 但从表3中可以看出, 高山栎、稠木、红青冈、白青

表3 24种南方阔叶树材干燥特性(附针叶树材2种及北方阔叶树材2种)

树种	前期开裂	材面凹陷	内裂	扭曲	干燥速度	径干板速度	弦干板速度	密度(g/cm ³)	初含水率(%)
石 梓	2	1	1	3	2	••	••	0.47	145
木 莲	2	1	1	3	1	•	•	0.36	90
拟 赤 杨	3	2	2	5	1	•	•	0.39	110
金叶白兰	2	2	2	4	1	•	•	0.54	57
枫 香	3	2	1	4	1	•	•	0.50	110
橡 胶 木	3	1	1	3	1	•	•	0.59	
槭 木	2	2	1	2	2	•	•	0.60	43
野 漆 树	2	2	2	2	5	•	•	0.59	54
柿 木	2	3	2	2	2	•	•	0.60	58
天目紫茎	2	3	2	3	3	•	•	0.54	62
桦 木	2	3	2	2	2	••	••	0.61	51
荷 木	2	3	2	2	3	•	•	0.55	82
甜 锥	2	3	2	2	2	—	—	0.46	122
桂 樟	3	4	3	4	3	••	••	0.56	75
水 青 冈	3	3	3	2	2	••	••	0.62	63
灰 木	4	3	2	5	2	•	•	0.60	58
厚 皮 香	4	3	3	3	2	•	•	0.64	53
马 蹄 荷	4	3	3	5	2	•	•	0.56	87
米 老 排	3	3	4	4	2	•	•	0.45	161
麻 栎	3	4	2	3	4	•	•	0.78	45
白 青 冈	4	3	4	3	4	••	••	0.70	62
红 青 冈	4	4	4	2	2	••	••	0.67	75
稠 木	5	3	4	3	3	••	••	0.75	61
高 山 栎	2	1	1	2	1	•	•	0.51	57
长苞铁杉	3	1	1	2	2	•	•	0.46	135
马 尾 松	2	3	2	2	2	•	•	0.48	78
水 曲 柳	3	3	3	3	3	••	••	0.62	52

冈、麻栎、水青冈六种具有宽木射线的木材，除水青冈为三级外，其它五种均属4级或5级，可见宽木射线可以是引起前期开裂的一种附加因素。

通常认为扭转纹及交错纹是造成木材扭曲的主要原因，对枫香、拟赤杨、米老排、马蹄荷、灰木、白兰六种扭曲严重或甚严重的木材的检查，证实了这种认识。这六种木材在以后的窑干试验中也常发生扭曲，其中米老排交错纹幅度宽、斜度大，扭曲的也特别多，并常发生端面扭曲和板材侧边劈裂现象。

(二) 不同基准的比较试验

对结构不同的三种基准作了对比试验。

这三种基准在第一阶段温、湿度均相同，但基准A在干燥过程前期升温 and 降湿 均较快，基准B（仿美国基准，参考E.F.雷斯穆森，1961，干燥窑操作手册）第一阶段终含水率为初含水率的2/3，终了阶段温度较基准A低12℃。基准C（仿苏联基准，参见П.С.谢尔戈夫斯基，1987，木材的水热处理和防腐处理）第一阶段终含水率规定为30%，终了阶段较基准A低4℃。A、B组试验的试件由同一板材锯取，A、C组试验试件自另一板材锯取。试验基准列于表5，试验结果列于表6。

结果表明：对于甜锥，基准A偏硬，主要是初期降湿和升温过快，引起了材面凹陷；基准C过软，主要是第一阶段和第二阶段的时间过长，致使全干燥周期过长；基准B初期较适当，但终期温度偏低。

本试验中还参照西尾茂方法（用瓦弯法估计木材中的干燥应力，1976年木材学会志vol.22, No.11）作了瓦弯过程检测。图1示瓦弯的发展过程。可以看出在基准A条件下，瓦弯发展迅速，基准B瓦弯发展缓慢，基准C在第一阶段后期瓦弯发展有较长的稳定

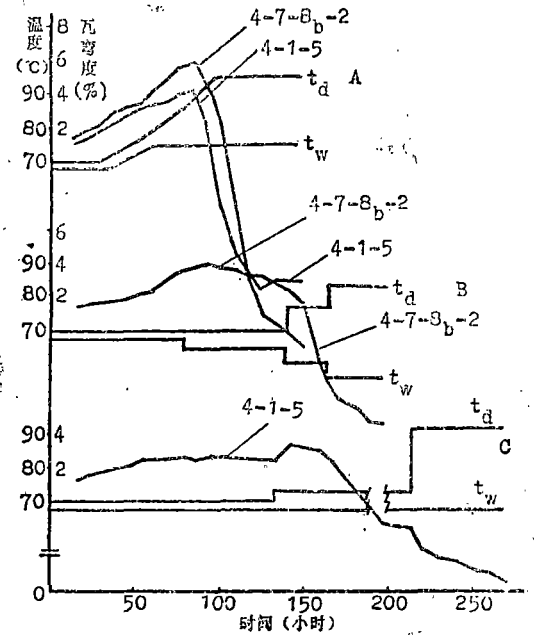


图1 甜锥瓦弯发展过程

表4 24种南方阔叶树材干燥缺陷及干燥速度各等级的比率

	一级		二级		三级		四级		五级	
	种数	百分比	种数	百分比	种数	百分比	种数	百分比	种数	百分比
前期开裂		0	10	42.0	7	29.0	6	25.0	1	4.0
材面凹陷	3	12.5	5	21.0	13	54.0	3	12.5	未见	0
内 裂	5	21	10	41.5	4	16.5	5	21.0	未见	0
扭 曲		0	9	37.5	8	33.5	4	16.5	3	12.5
干燥速度	5	21	11	46.0	4	16.5	3	12.5	1	4.0

表5 三种试验基准

基准	阶 段 及 时 间				
	1*	2	3	4	5
A	70/2, 30	71—80/3—5, 33	81—94/6—19, 35	95/20, 50	
B	70/2, 80	70/5, 55	70/10, 8	77/14, 24	83/27, 32
C	70/2, 136	73/5/5, 70	91/23, 48		

注：分子为干球温度（℃），分母为干湿球温度差（℃），第三项为时间（小时），*包括升温及预热时间。

表6 三种基准的试验结果

基 准	初含水率	干燥至含水率10%		干 燥 初 期			干燥缺陷
	(%)	时间 (小时)	比 较	时间 (小时)	终含水率 (%)	比较	
甜 锥 (厚2.5厘米)							
A	64.8	115	100	70	34.4	100	材面微凹陷
B	84.2	187	84	79	52.1	94	无
A	84.3	153	100	70	52.7	100	材面微凹，一块中有小内裂
C	81.6	237	60	36	42.1	65	无
石 梓 (厚2.5厘米)							
A	113.7	108	100	70	58.7	100	无
B	114.8	193	57	79	72.2	75	无
A	139.0	137	100	70	105.2	100	无
C	130.0	258	49	136	87.6	65	一块有端表裂1条

期，表明外层干缩早已达稳定，基准应提前调整，从瓦弯发展特点与三种基准前期软硬情况是一致的，都表明基准C前期过软，基准A则较硬。

对于石梓，三种基准都无明显干燥缺陷，基准A的干燥时间明显短于B和C，表明基准B和C均过软。

试验结果表明，初期阶段除了采用适宜的温、湿度外，还应考虑适宜的延续时期。

在缺乏干燥应力资料的情况下，一般可以参照美国基准标准，取其终含水率均为初含水率的2/3，易干材可以提前，中等难干材也可略加提前，难干材不宜提前。

(三) 窑干试验

根据100℃试验结果和表2所列的初、终期条件，拟定了各树种的干燥基准，进行窑干试验。基准结构以B型为主，但第一阶段调整略早，初、终期温度及初期湿度略高于

原规定。有的树种还采用了不同温度的比较试验（如桂樟），有些树种作了连续升温、中一高温和常规基准的比较（如石梓、木莲等）。试验结果摘要列于表6。

结果表明大多数树种按照规定基准干燥，可以不发生缺陷，或仅有轻微端表裂，或少数近心部的表裂。这些树种包括石梓、木莲、金叶白兰、枫香、拟赤杨、甜锥、荷木、紫茎、槭木、桦木、野柿、野漆、灰木、桂樟、高山栎、桐木、橡胶木等17种。水青冈、厚皮香、马蹄荷仍有少数表裂，需降低干燥温度；白青冈、红青冈、麻栎需要延长第一阶段时间，并进行中间处理，以减少表裂和凹陷，米老排需降低后期温度以减少扭曲。

石梓和木莲采用连续升温和中一高温基准时，未发生缺陷或仅少数端表裂，其干燥时间可比采用常规基准时约缩短一半。与以往对沙兰杨试验结果接近（参见“木材工业”1987年第一卷第二期）。

桂樟100℃干燥时，表裂为3级，凹陷为4级，内裂为3级，按表2初期干燥温度应为50℃。但实际窑干时，在初期温度为40°、50°和60℃条件下均未发生缺陷，采用60℃的干燥时间显著缩短。

三、讨论

（一）关于100℃干燥试验法的应用

对于没有干燥经验的树种，如何确定其适宜的干燥基准，寺沢真提出了一种简易的试验方法。这种方法是将试样在烘箱中于100℃温度下烘干，测定其前期开裂、断面凹陷和内裂，根据这三种干燥缺陷的程度，确定基准的初期温度及干湿球温度差和终期温度，干燥缺陷程度与初、终期干燥条件的关系，是根据经验和理论研究预先确定的。有了初、终期干燥条件，便可以从美国林产品研究所发表的一系列干燥基准中选用相应的一种，进行实际窑干试验。利用这种方法可以大大减少实际窑干试验次数。我们称这

种方法为100℃干燥试验法。在日本主要用于东南亚热带木材的研究。

100℃烘干时，温度很高，相对湿度近于零，干燥条件很激烈，各种干燥缺陷容易充分显示出来。同时，因干燥条件相同，各种树种的干燥特性可以相互比较。我们对24种南方阔叶树材的试验结果表明，对多数树种根据100℃烘干的结果和预定干燥条件通过一、二次窑干试验，可求得适宜的干燥基准。但有少数树种，实际干燥试验发生缺陷的倾向与100℃烘干时不一致。例如，（1）枫香和拟赤杨，100℃烘干时仅发生端表裂，而实际干燥中少数试样发生了较明显的表裂；（2）桂樟在100℃烘干时表裂为3级，断面凹陷为4级，内裂为3级，应选用50℃的初期干燥温度，而实际干燥中，即使在初期温度为60℃的条件下，除轻微端表裂外，未发现其它缺陷；（3）高山栎、桐木、红青冈在100℃烘干中内裂均为4级，但在实际干燥时，三种木材发生内裂的倾向却不相同，高山栎未发生，桐木仅是个别的，红青冈较多。对上述这些树种需要通过多次试验，对预定的干燥条件进行修改。

上述这些树种100℃烘干时与实际窑干可能发生缺陷的情况不一致的原因尚未了解，初步推测可能是由于材质的变化，如发生了初腐、斜纹等（例1），或由于各种木材对温度的敏感程度不同（例2及3），或与内裂的形成有关，100℃烘干中有些内裂可能是由表裂引起的（如例3）。这些原因，有待进一步研究。

我们对寺沢真预定的初终期条件作了一些修改，主要是将干燥缺陷1、2、3级的初期干燥温度提高，5级（或4、5级）初期温度降低了一些。试验结果表明这些修改是合适的，至少对国产木材是这样。在100℃烘干试验中我们规定了前期开裂分级的定量标准，可以提高分级的准确程度。我们还增加了检测项目：扭曲、干燥速度、径锯板与弦锯板干燥速度的差异三项，这些项目能够更

为全面地说明木材的固有干燥特性，便于实际生产操作中如堆垛方法及对干燥过程控制等参考，其中扭曲一项还可以作为修订试验干燥条件的依据。

(二) 干燥特性及干燥基准

根据试验结果，对24种阔叶树材按干燥难易程度可分为三类：易干材、中等难干材和难干材。

属于易干材的有石梓和木莲两种，实际干燥中除可能有轻微端表裂外，不会发生表裂、内裂及材面凹陷。可以采用硬基准，也可采用连续升温或中—高温快速干燥基准。其中石梓径锯板与弦锯板干燥速度差异显著，有干燥不均匀现象，后期采用较高温度可以减少这些差异。薄材易扭曲，堆垛时宜将隔条间距减小。

属于难干材的有：白青冈、红青冈、稠木、高山栎、麻栎、米老排和马蹄荷七种。这些木材除甚易发生表裂外，并易发生内裂和材面凹陷，后两种还易发生扭曲，需要采用低温、高湿基准，并应延长第一阶段干燥时间。

其它5种属中等难干材，其中：

- 1. 水青冈、厚皮香较易发生表裂和材面凹陷，初期干燥条件应较软。
 - 2. 枫香、拟赤杨、荷木、灰木较易表裂，尤其近髓心部位常出现表裂，初期湿度应较高。
 - 3. 野柿、桦木、槭木易发生材面凹陷，应进行适当的中间高湿处理。
 - 4. 甜锥可能出现表裂，某些材料干燥缓慢并可能发生内裂，应多选含水率检验板，并进行中期高湿处理。
 - 5. 野漆干燥甚慢，除髓心处易劈裂和轻微端裂外，一般可无严重缺陷，基准可以硬一些，后期温度可增高。
 - 6. 橡胶木、天目紫茎、金叶白兰较其它树种易干燥，可采用较硬的干燥基准。但是橡胶木近髓心部位特别容易发生表裂，当干燥带有髓心的材料较多时，需采用较软的基准，缓慢干燥。这种木材最好采用气干预干。
 - 7. 枫香、拟赤杨、白兰、桂樟、灰木、特别易于扭曲，干燥后期温度不宜过高。
- 建议各种木材分别采用表7所列基准。

表7 24种南方阔叶树材的窑干基准(材厚2.5厘米)

石梓、木莲			金叶白兰、橡胶木 天目紫茎			枫香、拟赤杨、桂樟 荷木、灰木			甜 锥			槭木、桦木、野柿		
MC	t	Δt	MC	t	Δt	MC	t	Δt	MC	t	Δt	MC	t	Δt
60以上	70	5	40以上	60	4	40以上	60	3	50以上	60	3	40以上	60	4
60—40	75	7	40—30	62	6	40—30	62	4	50—30	62	4	40—30	62	6
40—30	80	9	30—20	67	9	30—20	65	7	30—20	67	7	30—20	67	9
30—20	85	12	20—15	75	12	20—15	70	12	20—15	75	11	20—15	75	12
20以下	95	18	15以下	90	18	15以下	80	20	15以下	90	20	15以下	90	18

野 漆	水青冈、厚皮香			马蹄荷			米老排			高山栎、稠木			红青冈、白青冈、麻栎		
MC	t	Δt	MC	t	Δt	MC	t	Δt	MC	t	Δt	MC	t	Δt	
40以上	60	4	40以上	50	3	40以上	45	2	60以上	40	2	40以上	40	2	
40—30	65	6	40—30	52	4	40—30	47	3	60—40	42	3	40—30	42	3	
30—20	70	9	30—25	57	7	30—25	50	5	40—30	45	5	30—25	45	5	
20—15	80	12	25—20	65	12	25—20	55	9	30—20	50	8	25—20	50	8	
15以下	95	18	20—15	75	15	20—15	60	15	20—15	55	12	20—15	55	12	
			15以下	85	20	15以下	70	20	15以下	65	18	15—12	65	15	
										12以下	75	20	12以下	70	20

MC为含水率(%)；t为干球温度(℃)；Δt为干、湿球温度差(℃)。

应当指出,干燥基准第1阶段终含水率及第二阶段初含水率可以根据木材实际初含水率加以修正,中等难干材以初含水率的2/3为标准,易干材可以提前一些,但难干材应延后。易发生内裂及材面凹陷的木材应进行中间高湿处理。

提出的基准表适用于厚度2.5cm的板

材,厚度3cm的板材也可采用,但用于更厚的板材时,对易表裂的树种应减小初期干湿球温度差和温度,对易内裂或易材面凹陷的树种需降低温度,并增加中间高湿处理次数。

(责任编辑 袁东岩)

The drying characteristics and kiln drying schedules on 24 species of hardwood from South China

He Dinghua, Lin Wenjie

(Inst. of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry).

Abstract The drying test at 100°C and kiln drying were conducted to find out the drying characteristics and suitable drying schedules for 24 species of hardwood from South China. The results of the experiment showed that the tendency of most species to degrading defects during kiln drying is consistent with the drying defects showed by 100°C test. While in the care of very few of species, the drying defects appeared during kiln drying are different from those occurred in 100°C test and the present drying conditions should be modified by revision tests.

Keywords Drying defect, Kiln drying schedules, Initial moisture content

(上接第7页)

former three species with the manufacture of gypsum-bonded particleboard was studied. At same technical parameters, the gypsum-bonded particleboard made of the lower density species with higher MOR, i.e. spruce board is the strongest, then poplar and birch, the board made of oak is the weakest. Spruce and poplar are suitable species for the manufacture of gypsum-bonded particleboard. But the qualified birch and oak boards were not obtained even through the change of wood-gypsum ratio and wood particle volume, water extraction of wood particle. Mixture of various wood species will not only offset the hydration time, but also make the quality of gypsum-bonded particleboard unstable, which should be avoided in practice.

Keywords Gypsum-bonded particleboard, Wood species, Density, Wood-gypsum ratio