

米老排锯材干燥中试研究

刁海林¹,唐继新²,唐贤明¹,郑华庭¹,白灵海²,罗建举¹

(1. 广西大学 林学院, 广西 南宁 530004; 2. 中国林业科学研究院 热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600)

摘 要:进行米老排(*Mytilaria laosensis*)锯材干燥中试,验证中试干燥基准的正确性,以求获得适于米老排生产应用的干燥基准。采用生产中广泛使用的强制气流循环普通干燥窑,在给定的中试干燥基准下对米老排锯材实施中级干燥试验,并按照国家标准(GB/T 6491-1999)进行锯材干燥质量评定。试验结果表明:米老排锯材干燥产品的平均终含水率 7.5%;厚度含水率偏差为 0.91%;应力指标 4.06%;平均顺弯度为 0.36%,横弯度为 0.14%;扭曲度为 0.29%;瓦弯度为 2.54%;纵裂度为 4.79%;截面收缩率为 0.19%;无内裂。干燥至含水率 12% 时所用时间为 224 h(9.33 d);干燥速度为 0.36% · h⁻¹。锯材总体干燥质量等级为二级,达到木制品生产对米老排锯材干燥质量的要求。

关键词:米老排;锯材;干燥基准;中试

中图分类号:S781.71 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2012)06-0168-06

Pilot-scale Experiment on the Drying of the Sawn Timber of *Mytilaria laosensis*

DIAO Hai-lin¹, TANG Ji-xin², TANG Xian-ming¹, ZHENG Hua-ting¹, BAI Ling-hai², LUO Jian-ju¹

(1. College of Forestry, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China; 2. Experimental Center of Tropical Forestry, CAF, Pingxiang, Guangxi 532600, China)

Abstract: A pilot-scale test on the drying of the sawn timber of *Mytilaria laosensis* was carried out to examine the accuracy of the Chinese drying schedule. A widely applied drying kiln with a forced air circulation system was adopted to implement intermediate level drying with a given test drying schedule. The quality of the dried sawn timber was evaluated according to national standard (GB/T 6491-1999). The related parameters of the dried *M. laosensis* sawn timber were as follows: average final moisture content: 7.5%; thickness moisture deviation: 0.91%; stress index: 4.06%; average longitudinal bending degree: 0.36%; lateral bending degree: 0.14%; distortion degree: 0.29%; tile shape bending degree: 2.54%; longitudinal cracking degree: 4.79%; cross section shrinkage rate: 0.19%. No internal crack was observed. The time of drying to a water content of 12% was 224 h (9.33 d); drying speed was 0.36% · h⁻¹. The overall drying quality of sawn timber achieved grade two, indicating that the quality of *M. laosensis* sawn timber after drying could meet the production requirements.

Key words: *Mytilaria laosensis*; sawn timber; drying benchmark; pilot-scal test

米老排(*Mytilaria laosensis*),别名壳菜果、三角枫、山桐油、米显灵、马蹄荷、朔潘^[1],为常绿乔木。分布于广东、广西南部、云南东南部等海拔 1 500 m 以下地区,越南、老挝亦产^[2]。米老排生长早期具有

速生特性,且高速生长期持续较长^[3]。天然林米老排木材结构细密,纹理交错,树干端正,重量中等偏轻,气干密度 0.572 g · cm⁻³^[4],是重要的速生材,被广泛应用于家具制造、胶合板、房屋建筑等领域。

米老排由于同时具有含水率高、刚度强度差、尺寸变异大、存在应力木、易变形开裂等特点^[3],这在一定程度上制约了米老排的高端用途。实践证明,合理的干燥可以改善木材的加工性能,减少变形,延长使用年限。如何对米老排锯材进行合理、正确的干燥,以改善米老排锯材的性能,减少变形和开裂,是米老排木材在加工应用中所面临的问题。本文在百度试验法研究的基础上^[5],联系生产实际对米老排百度试验干燥基准进行修订建立中试干燥基准,然后应用目前木材干燥生产中广泛使用的普通干燥窑,按常规生产方式对米老排锯材进行干燥中试试验,验证中试干燥基准的正确性,以期获得适于米老排锯材生产应用的干燥基准及工艺。

1 材料与方法

1.1 锯材与隔条的制备

1.1.1 锯材制备 所用米老排原木取自广西凭祥市中国林业科学研究院热带林业实验中心伏波贮木场。在米老排原木楞场中随机选取米老排原木

5 m³,原木树龄 28 a,平均胸径 35.5 cm。然后按制材生产要求,将原木锯解成 240 cm 长、3.0 cm 厚(宽度不限)的整边板,作为干燥试材。锯材平均初含水率为 89.48%;平均厚度含水率偏差为 14.56%。

1.1.2 隔条制备 用马尾松木材锯制规格为厚×宽×长=25 mm×40 mm×2 200 mm 的隔条 200 条。

1.2 试验设备

MJ346A 细木工带锯(广东佛山市顺德区伦教胜木机械厂)、具有强制气流循环系统及加湿装置的生产用 5 m³ 普通干燥窑(浙江省磐安县龙飞脱水设备厂)(图 1)、温湿度仪(深圳市欧科创科技有限公司)、PT-90E 手持针式木材含水率测试仪(上海纵越电子科技有限公司)、基准台、101-2 型电热鼓风恒温干燥箱(上海东星建材试验设备有限公司)、1 000-1 电子天平、其他检测工具:游标卡尺、钢卷尺、钢直尺、台秤、手锯等。

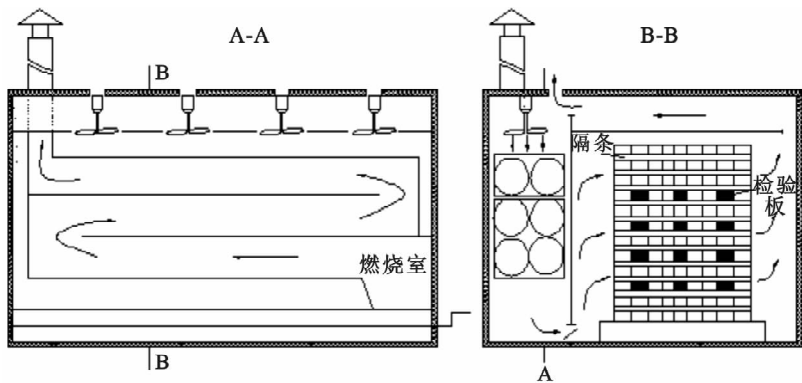


图 1 干燥窑平面示意图
Fig. 1 Plane schematic diagram of drying kiln

1.3 方法

1.3.1 干燥前的准备 从米老排锯材中选取节疤少、无虫眼、无腐朽的优质板 2 块,按国家标准(GB/T 6491-1999)截取初含水率试验片 4 片、初分层含水率试验片 2 片、初应力试验片 2 片、当时含水率检测板 2 块。再选 12 块干燥质量检验板(为了观察不同板端处理方式对板端裂纹的影响,将其中 4 块截去端裂并封漆、4 块截去端裂不封漆、4 块板端保持原始状态仅对初始裂纹进行标注)。对炉膛、烟道进行清理以提高热效率,对窑体进行预热除湿。

1.3.2 锯材入窑 采用水平纵向堆积方式堆积木材。锯材入窑前,先用 4 根 20 cm×20 cm×220 cm 规格马尾松大木方为垫木横向铺底并找平,垫木间

距为 66 cm。堆放时材堆内同层板材之间不留空隙,每层木料之间放置隔条,隔条间距与垫木间距一致,在材堆顶部压放重物。

1.3.3 干燥状态监测 窑内温湿度监测的仪器为深圳欧科创科技有限公司生产的可直接探测室内温度和介质相对湿度的一体式温湿度监测仪。温湿度探头安装于窑内底部热空气入口处,距窑底部约 20 cm。以 2 块分别置于材堆上下各 1/3 处的当时含水率检测板适时跟踪窑内材堆的含水率,将 12 块干燥质量检验板均匀布置于材堆的上中下部位(图 1)。

1.3.4 干燥基准 由百度试验得米老排干燥基准(表 1)。

表 1 米老排百度试验干燥基准

Table 1 Baidu test drying benchmark of the *M. laosensis*

干燥阶段	含水率/%	干球温度/℃	干湿球温度差/℃	相对湿度/%	干燥时间/d
1	>40	50	2（3）	90（84）	16（10）
2	40~30	55	2（3）	90（83）	
3	30~25	60	3（4）	88（81）	
4	25~20	63	5（6）	78（74）	
5	20~15	66	8（10）	67（60）	
6	15~10	70	18（18）	39（39）	
7	<10	80	18（18）	43（43）	

表中与干湿球温度差、相对湿度及干燥时间相对应的括号内数字,为硬基准条件下的干湿球温度差、相对湿度及干燥时间^[6]。

干燥基准应该是个性化的参数,由木材材性决定,木材基本密度越大,干燥基准应该越软^[7-9]。根据米老排生长应力大,容易产生开裂和变形的特性,干燥速度不宜过急,应采用软基准及较慢的温升速

度。结合生产经验及为了便于温度控制,将表 1 中米老排百度试验干燥基准作适当调整,即将温升梯度调整为按 5℃ 进级,初期温度(50℃)和终了温度(80℃)不变。整个干燥过程中进行 2 次中间处理(喷蒸处理约 3 h),以缓解干燥应力。对米老排百度试验干燥基准进行适当调整后,得到本次试验的中试干燥基准(表 2)。

表 2 米老排中试干燥基准

Table 2 Intermediate test drying benchmark of the *M. laosensis*

干燥阶段	含水率/%	干球温度/℃	干湿球温度差/℃	相对湿度/%	中间或终了处理
1	>40	50	2	90	喷蒸 3 h
2	40~30	55	2	90	
3	30~25	60	3	88	
4	25~20	65	5	78	
5	20~15	70	8	68	喷蒸 3 h
6	15~10	75	18	41	
7	<10	80	18	43	终了处理 4 h

1.3.5 干燥过程控制 试验开始时,首先对材堆进行预热。预热温度设为 60℃(比干燥基准的初期温度高 10℃),相对湿度设为 98%~100%,防止预热阶段锯材水分蒸发,使锯材热透。以约 5℃·h⁻¹ 的温升速度进行加热(窑内初始温度为 32.2℃),6 h 左右到达设定温度 60℃,之后保持 6 h。同时,以约 5%·h⁻¹ 的速度进行加湿(窑内初始湿度为 71%),窑内空气湿度 6 h 内达到 98%~100%,然后保持 6 h。预热结束后,在 2~3 h 内将温湿度降至干燥基准的初级阶段,此后按照中试干燥基准的程序进行干燥。窑内锯材含水率降至纤维饱和点(23%~30%)^[8] 以下时进行第 1 次中间处理(喷蒸 3 h),以降低锯材内含水率梯度,防止锯材表层干燥过快导致开裂。此后每次中间处理均喷蒸 3 h,整个干燥过程共进行 2~3 次中间处理。当锯材含水率达到地区平衡含水率 12%时,进行终了处理(喷蒸 4 h),之后继续加热使窑内相对湿度达到 43%左右后停火,但风机继续运转,待窑内温度降至 50℃后关闭风机。锯材随窑体自然冷却 24 h 后出窑,干燥结束。干燥过程中,用温湿度仪监控干燥室内的温湿度,以含水率检测板及含水率测试仪联合跟踪锯材

含水率。每 2 h 记录 1 次数据(包括窑内温度、湿度及含水率检测板当时重量等数据)。

锯材出窑后,据国家标准(GB/T 6491-1999)对锯材进行干燥质量检测、评定等级并进行总结分析。

2 结果与分析

2.1 干燥质量分析

2.1.1 含水率及应力 米老排锯材的不可见干燥缺陷质量指标(含水率及应力指标)分别为:平均终含水率 7.5%;厚度含水率偏差 0.91%;应力指标 4.06%。根据国家标准《锯材干燥质量》(GB/T 6491-1999)^[10],对米老排锯材上述指标进行单项质量评价结果为:平均终含水率 7.5%,单项质量等级为一级;厚度含水率偏差 0.91%,单项质量等级为一级;应力指标 4.06%,单项质量等级为三级。应力指标稍偏大,这除了与米老排本身的生长应力大及应力木性质有关外,还与干燥过程的中间处理及终了处理有关。

2.1.2 可见干燥缺陷质量 米老排锯材的可见干燥缺陷质量指标检测结果如表 3 所示。

表 3 米老排锯材(30 mm)可见干燥缺陷质量指标

检测板号	顺弯度 /%	横弯度 /%	瓦弯度 /%	扭曲度 /%	纵裂度 /%	内裂 /mm	干燥质量 等级
1	0.61	0.16	3.04	0.32	3.72	无	二级
2	0.45	0.13	2.44	0.13	1.49	无	一级
3	0.33	0.29	3.64	0.45	7.00	无	三级
4	0.08	0.08	1.98	0.27	5.42	无	二级
5	0.51	0.08	1.89	0.12	3.51	无	一级
6	0.11	0.13	2.18	0.15	2.03	无	一级
7	0.39	0.15	2.86	0.15	4.88	无	二级
8	0.21	0.08	3.56	0.21	11.9	无	级外
9	0.62	0.29	2.02	0.62	4.35	无	二级
10	0.40	0.08	2.07	0.44	0	无	一级
11	0.23	0.15	2.21	0.38	5.38	无	二级
12	0.35	0.06	2.54	0.19	7.79	无	三级
平均值	0.36	0.14	2.54	0.29	4.79	无	二级

将表 3 结果与国家标准^[10]进行比对得:顺弯度 0.36%, 单项质量等级为一级弱;横弯度 0.14%, 单项质量等级为一级;瓦弯度 2.54%, 单项质量等级为一级;扭曲度 0.29%, 单项质量等级为一级;纵裂度 4.79%, 单项质量等级为一级弱;无内裂, 单项质

量等级为一级。米老排锯材的可见干燥缺陷综合质量等级为一级。

2.1.3 板端处理效果 干燥前锯材板端处理方式对锯材干燥端裂影响情况如表 4 所示。

表 4 米老排锯材板端处理方式对锯材端裂的影响

检验板号	截端裂封漆 新裂/mm	检验板号	截端裂不封漆 新裂/mm	检验板号	原始端面 新裂或延长裂/mm
1	0	5	35	9	105
2	0	6	53	10	0
3	170	7	125	11	140
4	0	8	290	12	200

在干燥应力、干缩应力和生长应力的联合作用下可使锯材发生端部开裂,但若采取适当的端部处理措施,可在一定程度上抑制锯材干燥端裂的发生。由表 4 可知,干燥前将米老排锯材截去原始端裂并封漆,干燥后产生的新裂纹最小;截去原始端裂但不封漆,干燥后产生的新裂纹最大。可见,若干燥前截去原始端裂不封漆,反而因锯材端部初应力失去平衡及板端水分的快速蒸发而加剧干燥端裂的产生。

2.1.4 表裂及内裂 木材干燥前期,在较大的温湿度梯度下,由于木材表面水分蒸发的速度远大于木材内部水分移动速度,因此,木材表面先于木材内部发生干缩而产生拉应力,当拉应力大于木材的横纹抗拉强度时,木材表面发生开裂。在干燥后期,由于木材表面先于硬化,木材内部所受拉应力大于木材横纹抗拉强度时发生内裂。本试验结果(表 3)可见,米老排干燥过程中虽有较明显的表裂,但完全没有内裂,说明干燥基准设置的温湿度梯度、中间处理及终了处理程序比较合理。

2.1.5 截面变形 截面变形亦称皱缩,是木材干燥时由于水分移动太快所产生的毛细管张力和干燥应

力使细胞溃陷而引起的不规则的收缩。本试验中产生截面变形厚度差在 0.06~0.39 mm 之间,变化范围较小。此次试验由于材堆终含水率达到 7.5%,截面径向皱缩率平均值达到 5.79%,与一般木材绝干时的皱缩率 3%~6%相比稍偏大,这与终了含水率过低等因素有关。

2.2 干燥总图

2.2.1 总图分析 由图 2 可见,米老排锯材干燥达到纤维饱和点(23%~30%)的时间约为 145 h。在 145 h 之前,窑内温度及相对湿度曲线走势较为平缓,温和的干燥强度使米老排的生长应力得以较充分的释放,这也是本次试验能使所有可见干燥缺陷质量指标均达到国家标准一级水平的重要保证。自 145 h 之后,窑内温度及相对湿度曲线开始以较急的走势交叉而去。这是因为 145 h 以后的蒸发对象主要是纤维的结合水,纤维结合水较 145 h 前的自由水较难蒸发,必须降低湿度提高温度使含水率梯度提高,才能有效地蒸发结合水,提高干燥效率,这在干燥思想及程序上是比较正确的。但如果含水率梯度过高,则可能容易造成终了残余应力指标的偏大。

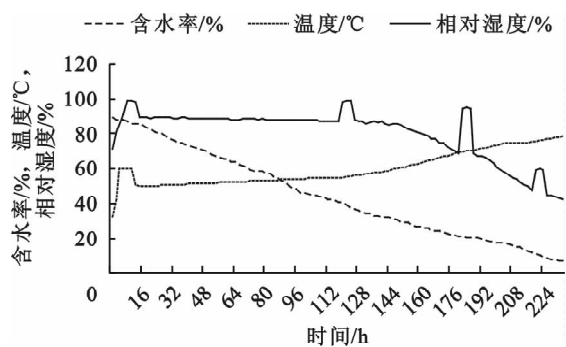


图 2 含水率、温度、湿度与时间关系曲线

Fig. 2 Moisture content, temperature and humidity Vs time curve

2.2.2 干燥时间及速度 由总图可见,本次试验米老排锯材干燥至地区平衡含水率 12% 时所用时间为 224 h(9.33 d),干燥速度为 $0.36\% \cdot h^{-1}$ 。干燥速度($\% \cdot h^{-1}$)系由锯材初含水率减去终含水率然后除以干燥时间而得。干燥速度主要用以说明干燥过程中锯材含水率降低快慢的程度或锯材中水分蒸发快慢的程度。米老排属难干材(干燥容易变形开裂)^[6],因此,基于米老排自身的材性和为了获得较高干燥质量,本试验对米老排锯材采用较低的干燥速度。

3 结论

根据含水率、应力及可见干燥缺陷质量分析结果知,本次对米老排锯材进行干燥中试试验的各项干燥质量指标良好,综合质量达到国家标准(GB/T 6491-1999)规定的锯材干燥质量标准等级二级,干燥质量达到预期目标,说明本文研究制定的中试干燥基准基本正确。

由干燥结果可知,终了含水率、厚度含水率偏差以及顺弯、横弯、瓦弯、扭曲、纵裂、内裂等指标对米老排的干燥质量影响不大,米老排的干燥质量主要受到残余应力的影响,是米老排锯材实际干燥中首要注意控制的指标,其次为顺弯度和纵裂度。由于米老排存在应力木,干燥过程中应力松弛的不均匀性是产生顺弯的重要内因。因此,为了缓解米老排锯材在干燥过程中应力松弛的不均匀性,干燥初期应充分预热,适当提高预热温度及延长预热时间。在纤维饱和点之前应使用“慢火”和较高的相对湿度,使锯材充分“煮透”,有助于消除内应力及降低顺弯度。

在干燥应力、干缩应力和生长应力的联合作用下可使锯材发生端部开裂,但若采取适当的端部处理措施,可在一定程度上抑制锯材干燥端裂的发生。由表 4 可知,将米老排锯材截去原始端裂并封漆,干燥后平均端裂值为最小(42.5 mm)。因此可得结

论:干燥前将锯材截去原始端裂并封漆,可有效减少锯材端部开裂。这一结论对名贵木材的干燥尤具参考意义。此外,实际生产中如不实施端面封漆,没有必要截去原始端裂。

为使米老排锯材获得较好的干燥质量,应采用低速干燥。采取低速干燥也是基于以时间换质量来提高经济效益的干燥理念,符合生产实际要求。

4 讨论

由于在进行本干燥试验过程中,除干燥基准外,所采用的干燥设备及干燥方式完全与目前一般干燥生产实际相一致,因此其方法可直接应用于生产实际。但值得注意的是,干燥基准与锯材厚度有关,实际干燥中应根据实际锯材厚度等情况对干燥基准作适当调整,才能获得更好的干燥效果。具体调整办法可根据文献^[11]的要求进行。

实际干燥生产中,适当增加饱和点后的中间处理次数和强度,同时适当加大终了处理的喷蒸强度及延长喷蒸时间,可以有效降低干燥残余应力,提高干燥质量。此外,还可根据锯材靠近树皮一侧的干缩率大于靠近髓心一侧的干缩特性^[12],在锯材装窑时将靠近髓心的侧面置于迎风的位置以反制因两侧板面通风速度不均而造成的弯曲。

木材的皱缩是水分降至纤维饱和点(23%~30%)以下时木材纤维之间的结合水失去,致使纤维之间相互靠近而引起的收缩^[8]。干燥过程中,木材在较低的含水率下,较易产生收缩变形^[13]。此次试验由于终含水率达到 7.5%,是锯材出现截面皱缩的原因之一。在实际干燥生产中将米老排锯材终含水率控制在全国地区平均平衡含水率 12% 左右,可在一定程度上减少截面的皱缩。由于目前关于锯材干燥皱缩的确切原因尚不能完全定论^[14]。因此,其他更有效的降低米老排锯材干燥皱缩率的办法仍有待于进一步探讨。

参考文献:

[1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第 35 卷, 第二分卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 50-52.
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES, CHINA FLORA EDITORIAL COMMITTEE. Flora reipublicae popularis sinicae (thirty-fifth volumes, second volumes)[M]. Beijing: Science Press, 1979: 50-52. (in Chinese)

[2] 成俊卿, 杨家驹, 刘鹏. 中国木材志[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
CHENG J Q, YANG J J, LIU P. China timber[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1992. (in Chinese)

[3] 郭文福, 蔡道雄, 贾宏炎, 等. 米老排人工林生长规律的研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(5): 585-589.

GUO W F, CAI D X, JIA H Y, *et al.* Growth Laws of *Mytilaria laosensis* plantation [J]. Forestry Science Research, 2006, 19(5): 585-589. (in Chinese)

[4] 中国林业科学研究院木材工业研究所. 中国主要树种的木材物理力学性质[M]. 北京: 中国林业出版社, 1982: 94-95.

[5] 何清慧. 木材干燥基准简易确定法—百度试验[J]. 木材工业. 1998, 12(6). 39-41.

HE Q H. Simple determining method of wood drying schedule-Baidu test[J]. Timber Industry, 1998, 12(6). 39-41. (in Chinese)

[6] 刁海林, 白灵海, 罗建举, 等. 米老排干燥特性研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(21): 4415-4418.

DIAO H L, BAI L H, LUO J J, *et al.* Drying characteristics of *Mytilaria laosensis* [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2011, 50(21): 4415-4418. (in Chinese)

[7] 李梁, 张壁光, 伊松林. 木材干燥基准的研究现状与展望[J]. 干燥技术与设备, 2007, 5(1). 22-26.

LI L, ZHANG B G, YIN S L. Research state and prospect of wood drying schedules [J]. Drying Technology and Equipment, 2007, 5(1). 22-26. (in Chinese)

[8] 茆姗姗, 胡进波, 刘元, 等. 人工林红锥木材干燥特性初探[J]. 木材工业, 2005, 19(5). 19-24.

CHANG S S, HU J B, LIU Y, *et al.* Drying characteristics of plantation grown *Castanopsis hystrix* [J]. Timber Industry, 2005, 19(5). 19-24. (in Chinese)

[9] 韦鹏练, 廖克波, 符韵林, 等. 山白兰木材干燥特性研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(1): 229-231.

WEI P L, LIAO K B, FU Y L, *et al.* A study of drying characteristics of *Paramichelia baillonii* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(1): 229-231. (in Chinese)

[10] GB/T 6491-1999. 锯材干燥质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.

[11] 顾炼百. 锯材窑干工艺过程的实施[J]. 林产工业, 2002, 29(5): 43-45.

GU L B. Lecture kiln drying process of lumber [J]. China Forest Products Industry, 2002, 29(5): 43-45. (in Chinese)

[12] 王喜明. 木材干燥学[M]. 3 版. 北京: 中国林业出版社, 1995: 163-164.

[13] 蔡家斌, 孙照斌, 陈继飞, 等. 木质装饰薄板干燥技术研究[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(4): 152-154.

CAI J B, SUN Z B, CHEN J F, *et al.* A study on drying technology of decoration wood thin-board [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(4): 152-154. (in Chinese)

[14] 陈忠东, 林海, 崔玉权, 等. 常规木材干燥缺陷及产生的原因[J]. 林业机械与木工设备, 2006, 34(7): 50-51.

(上接第 167 页)

[9] 冯凌青, 苏中海, 许立更, 等. 木材品名的鉴定[J]. 中国检验检疫, 2006, (3): 15-16.

[10] 雒丹阳, 冯德君, 穆亚平, 等. 宝鸡金台观古建筑木结构树种鉴定[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(1): 166-168.

LUO D Y, FENG D J, MU Y P, *et al.* Wood species identification of woody structure in ancient architecture at Jintaiguan Temple in Baoji [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(1): 166-168. (in Chinese)

[11] 郭继方. 用体视显微镜改制体视摄影器[J]. 光学仪器, 1993, 15(1): 24-26.

[12] 李华, 刘秀英, 陈允适, 等. 古建筑木结构的无损检测新技术[J]. 木材工业, 2009, 23(2): 37-39.

LI H, LIU X Y, CHEN Y S, *et al.* Effective non-destructive testing techniques for ancient wood building [J]. China Wood Industry, 2009, 23(2): 37-39. (in Chinese)

[13] 姜笑梅. 浅谈如何正确识别木材[J]. 人造板通讯, 2002, (1): 13-14.

[14] 晓海. 美国木材鉴定的方法[N]. 中国建材报, 2011-8-15(003).

[15] 侯雨石, 陈永飞, 何玉青, 等. 数码相机原理与系统设计研究[J]. 光学技术, 2002, 28(5): 452-454.

HOU Y S, CHEN Y F, HE Y Q, *et al.* Study of digital still camera's elements and system [J]. Optical Technique, 2002, 28(5): 452-454. (in Chinese)