

单板条层积材(PSL)施胶方法与热压工艺的研究

那 斌,王雯雯,王实建,王志强,卢晓宁*

(南京林业大学 木材工业学院,江苏 南京 210037)

摘 要:以杨木碎单板切成的单板条制作 PSL 为研究对象,通过分析单板条的尺寸形态、施胶的胶液浓度与施胶时间对单板条吸胶量影响,考察了 3 种不同的施胶方法、热压时间与温度对 PSL 物理力学性能的影响,优化了热压工艺。结果表明,单板条的尺寸形态对其吸胶量没有显著的影响,它主要影响产品的均一性和外观质量;胶黏剂的浓度是影响单板条吸胶量的一个重要因素,选用胶液浓度为 30% 的酚醛树脂胶;施胶方法是影响 PSL 力学性能的重要因素;热压时间和热压温度对 PSL 的物理力学性能有显著的影响。综合考虑产品的物理力学性能和产品均一性,以单板条长度为 100 mm,采用喷胶方式,热压时间为 35 min、热压温度为 150 ℃ 时制成的 PSL 的性能较好。

关键词:单板条层积材;碎单板;施胶方式;热压工艺;物理力学性能

中图分类号:TS653.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2012)01-0241-05

Glue Application and Hot-pressing Technology of Parallel Strand Lumber

NA Bin, WANG Wen-wen, WANG Shi-jian, WANG Zhi-qiang, LU Xiao-ning*

(College of Wood Science and Technology, Nanjing Forestry University Nanjing, jiangsu 210037, China)

Abstract: Parallel strand lumber (PSL) was manufactured from the waste poplar veneer strips, a by product from plywood enterprises. The influences 3 glue application methods, time of hot pressing and temperature on the physical and mechanical properties of PSL were investigated by analyzing the impacts of size of the strips, glue concentration and application time on the amount of glue-absorbing of each strip. Hot pressing technology was optimized. The results showed that the size of the veneer strands had no notable influence on the glue-absorbing amount, and it mainly affected the homogeneity and appearance quality of the product. The glue concentration is the main factor to affect the glue-absorbing amount of veneer strands, and in this study, PF resin with a concentration of 30% was selected. The glue-applying way was the main factor to affect the mechanical property of PSL. The hot-pressing time and temperature had significant influence on physical and mechanical properties of PSL. Considering physical and mechanical properties and homogeneity of product comprehensively, it was concluded that PSL with satisfactory quality would be manufactured by adopting the following conditions: length of veneer strands: 100 mm, glue application way: spraying; time of hot pressing: 35 min; temperature of hot pressing: 150 ℃.

Key words: PSL; waste veneer; gluing application way; hot-pressing technology; physical and mechanical property

单板条层积材(商品名,简称 PSL)是由窄单板条涂胶后顺纹平行铺装热压而成的新型人造板材,是利用小径木和低等级单板生产高强度、大规格替代结构用建筑成材的一项重要成果^[1-8]。它具有木

收稿日期:2010-11-25 修回日期:2011-07-26

基金项目:国家自然科学基金(31070502);国家林业局林业公益性行业科研专项(201104042);江苏高校优势学科建设工程项目(2011)作者简介:那斌,男,副教授,博士,主要从事木材科学与技术专业教学与科研工作。

* 通讯作者:卢晓宁,男,教授,博士生导师。E-mail:luxiaoning@njfu.edu.cn

材利用率高、材质均匀、纹理美观、力学性能高、机械加工性能好等优点,可作为装饰和结构用材^[3-10]。

本文利用胶合板企业的杨木碎单板切成单板条制作 PSL,以达到既提高木材利用率,又提高产品附加值的目的。研究中在分析单板条的尺寸形态、施胶的胶液浓度以及施胶时间对单板条吸胶量影响的前提下,考察 3 种不同的施胶方法、热压温度与时间对 PSL 物理力学性能的影响,并优化热压工艺,以期对 PSL 的生产提供理论指导。

1 材料与方法

将单板条定向平行铺装,制作规格为 380 mm×250 mm×15 mm 的单板条层积材。

1.1 材料与设备

1.1.1 杨木单板条的准备 将 2 mm 厚的杨木碎单板顺纹切成 15 mm 宽的单板条,再分别切成长度为 50、75、100 mm 的 3 种规格。单板条的绝干含水率为 12%。

1.1.2 胶黏剂的制备 自制酚醛树脂胶,固体含量 44.1%,粘度 48.72 s。

1.1.3 设备 单板切条机,摇臂式万能木工圆锯机,手动进料木工圆锯机,电热恒温鼓风干燥箱万能力学试验机,平板硫化机。

1.2 方法

1.2.1 PSL 制作工艺 浸胶法:单板→切成单板条→称量单板条→浸胶→滴胶→干燥(干燥温度 60 ℃,干燥时间 40 min)→铺装(平行排列,力求均匀无搭头)→预压(压力 1 MPa,时间 10 min)→热压→砂光→裁边→冷却密封→试件截取→检测^[10-12]。

喷胶、拌胶法:单板→切成单板条→单板条干燥(含水率 6%)→塑料袋密封持用→称量单板条→施胶→铺装(平行排列,力求均匀无搭头)→预压(压力 1 MPa,时间 10 min)→热压→砂光→裁边→冷却密封→试件截取→检测^[12-13]。

1.2.2 试验过程 先将宽 15 mm,长分别为 5、75、100 mm 的单板条按正交试验的方法浸于胶液浓度为 20%、25%、30% 的酚醛胶中,浸胶时间分别为 3、6、9 min,考察单板条的尺寸形态、胶液浓度、浸胶时间对单板条吸胶量的影响^[11],将得出的结果用于下一步实验。分别对单板条采取浸胶(浸胶时间和胶液浓度为最佳吸胶量时所取的值)、拌胶、喷胶方式施胶,拌胶、喷胶所用的施胶量同浸胶,同样采取正交试验的方法对单板条进行热压,热压时间分别为 25、35、45 min^[14],热压温度为 140、150、160 ℃^[15]。热压冷却后截取试件,按照国家标准 GB/T 17657

—1999 进行物理力学性能测试。

2 结果与分析

2.1 单板条浸胶试验

为了便于生产中控制吸胶量,重点考察单板条的尺寸形态、胶液浓度、浸胶时间 3 个因素对单板条吸胶量的影响^[11],每因素 3 个水平,采用正交试验 L₉(3³)表安排试验(表 1)。

表 1 实验安排及结果				
Table 1 Experiment arrangement and results				
试验号	胶液浓度 /%	浸胶时间 /min	单元形态 (单板条长度)/mm	吸胶量 /%
1	20	3	50	10.18
2	20	6	75	13.54
3	20	9	100	18.37
4	25	3	75	14.63
5	25	6	100	18.38
6	25	9	50	22.53
7	30	3	100	16.65
8	30	6	50	18.67
9	30	9	75	22.95

单板条的长度变化对其吸胶量没有太大的影响,它主要影响产品的均一性和外观质量。单板条的长度越小,则加工量越大,劳动生产率低,并且,当单板条长度为 100 mm 时其吸胶量最大,兼顾两个方面的影响,从实验过程和结果来看,单板条长度以 100 mm 为宜(图 1)。

胶液的浓度是影响单板条吸胶量的一个重要因素。随着胶液浓度的增加,单板条的吸胶量也随之增加(图 1),胶液渗透到单板内的多,单位体积内树脂含量高,同时,各胶合面树脂充足,能够使单板条之间牢固结合。并因所用酚醛树脂为自制胶,为保证其粘度,故选用胶液浓度为 30% 的酚醛树脂胶。

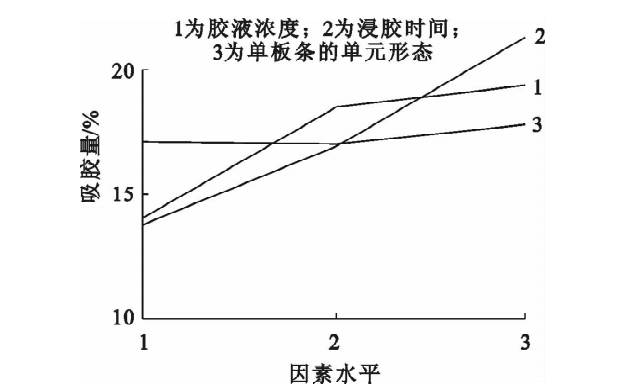


图 1 吸胶量与因素水平的关系
Fig. 1 Relationship between glue-absorbing amount and factor level

浸胶时间是影响单板条吸胶量最要的一个因素。随着浸胶时间的延长,单板条的吸胶量不断增大,虽然在 3 min 时已吸收了大部分的酚醛胶,但所

用胶为自制胶,为保证单板条内的树脂固含量,故选浸胶时间为 9 min(图 1)。

2.2 PSL 热压试

单板热压实验主要考察施胶方法、热压时间及热压温度 3 个因素对 PSL 物理力学性能的影响,仍

采用 $L_9(3^3)$ 正交试验。主要测试指标包括 PSL 的密度(D)、含水率(MC)、静曲强度(MOR)、弹性模量(MOE)、内结合强度(IB)和吸水厚度膨胀率(TS)。因板材的厚度已经定为 15 mm,取热压压力 7MPa^[15]。实验结果列于表 2,表 3。

表 2 实验安排及静曲强度、弹性模量、内结合强度结果

Table 2 Experiment arrangement and results of MOR, MOE and IB

实验号	施胶方式	热压时间/min	热压温度/℃	静曲强度(MOR)/MPa			弹性模量(MOE)/MPa			内结合强度(IB)/MPa
				1	2	3	1	2	3	
1	浸胶	25	140	73.45	70.90	75.99	8 411.68	9 164.02	9 705.44	1.35
2	浸胶	35	150	68.49	71.03	76.71	11 820.64	10 339.71	11 031.05	1.83
3	浸胶	45	160	59.90	52.25	46.09	11 219.69	11 402.25	10 328.21	1.75
4	拌胶	25	150	59.21	74.77	69.50	10 696.01	11 171.81	11 757.27	2.23
5	拌胶	35	160	57.61	67.49	66.79	11 498.93	11 132.13	11 629.97	1.58
6	拌胶	45	140	45.97	58.94	62.53	9 966.24	10 319.41	10 456.03	2.33
7	喷胶	25	160	44.36	51.25	59.96	11 926.66	11 164.54	10 890.29	1.62
8	喷胶	35	140	60.05	57.44	55.87	9 878.24	11 300.40	10 928.00	1.94
9	喷胶	45	150	63.45	68.46	83.37	10 066.85	11 690.61	12 069.17	1.93

表 3 实验安排及密度、含水率、吸水厚度膨胀率实验结果

Table 3 Experiment arrangement and results of density, MC and TS

试验号	施胶方式	热压时间/min	热压温度/℃	密度(D) ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	含水率(MC) /%	吸水厚度膨胀率(TS)/%
1	浸胶	25	140	0.67	5.80	9.1
2	浸胶	35	150	0.72	3.30	7.9
3	浸胶	45	160	0.68	3.78	8.0
4	拌胶	25	150	0.61	4.56	4.1
5	拌胶	35	160	0.76	3.40	4.7
6	拌胶	45	140	0.76	5.60	5.0
7	喷胶	25	160	0.68	3.20	8.7
8	喷胶	35	140	0.65	3.50	5.2
9	喷胶	45	150	0.67	3.60	5.8

由图 2~4 与表 2~3 可知,施胶方式是影响 PSL 力学性能的重要因素。采用浸胶方式制成的 PSL 的静曲强度最大,而采用拌胶和喷胶方式相继减小;浸胶的单板条含水率高,拌胶方式容易,却易破坏单板的结构,而喷胶方式能够让单板均匀吸胶,采用喷胶方式时制作的 PSL 的弹性模量最大。采用拌胶方式时制作的 PSL 的内结合强度最大。

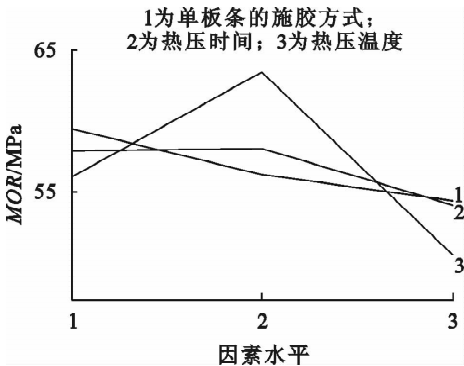


图 2 MOR 与因素水平的关系

Fig. 2 Relationship between MOR and factor level

1为单板条的施胶方式;
2为热压时间;3为热压温度

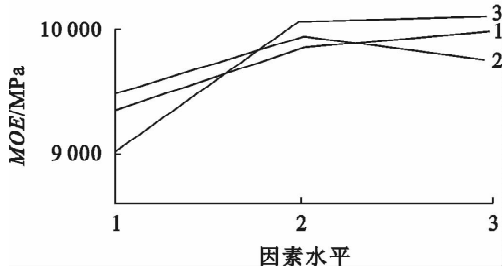


图 3 MOE 与因素水平的关系

Fig. 3 Relationship between MOE and factor level

1为单板条的施胶方式;
2为热压时间;3为热压温度

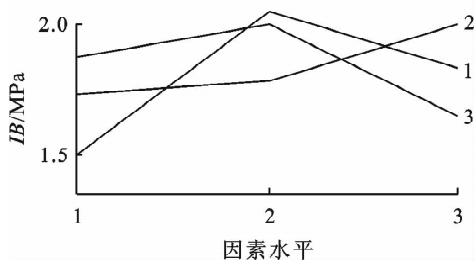


图 4 IB 与因素水平的关系

Fig. 4 Relationship between IB and factor level

热压时间对 PSL 的物理力学性能有显著的影响,它的作用在于使胶黏剂充分固化。当热压时间从 25 min 到 35 min 时时,静曲强度、弹性模量和 IB 增大,热压时间从 35 min 到 45 min 时静曲强度和弹性模量下降,故热压时间选择在 35 min 时 PSL 的静曲强度、弹性模量和内结合强度可达到最大。

热压温度对 PSL 的物理力学性能也有着显著的影响。随着温度的升高,静曲强度逐渐增大,但温度过高时,会使胶层变脆,板材的性能也相对降低,本实验中当温度为 150 ℃时静曲强度最大;随着热

压温度的升高,其弹性模量和内结合强度也随之升高,在 150 ℃之前,弹性模量增长较快,但在 150 ℃~160 ℃之间,由于温度的升高,胶黏剂的固化,PSL 的弹性模量增长相对较慢。

综合考虑 PSL 的静曲强度、弹性模量、内结合强度,采用喷胶方式,热压时间为 35 min、热压温度为 150 ℃时制作的 PSL 的力学强度较好。

PSL 的密度很重要,它直接影响到 PSL 的物理力学性能和应用范围和成本。PSL 的初始设计密度为 $0.7\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,测出各板块的密度基本在 $0.65\sim 0.76\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 之间,没有太大的变化,基本满足要求。将图 5 与图 2~图 4 对比可以得出密度的大小对 PSL 的静曲强度有一定的影响,当密度为 0.70 左右时,PSL 的静曲强度相对较低,但当密度为 $0.67\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 左右时,PSL 的静曲强度达到最大。随着密度的增加,弹性模量也随之增加,但超过一定数值($0.67\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)后,弹性模量反而下降。

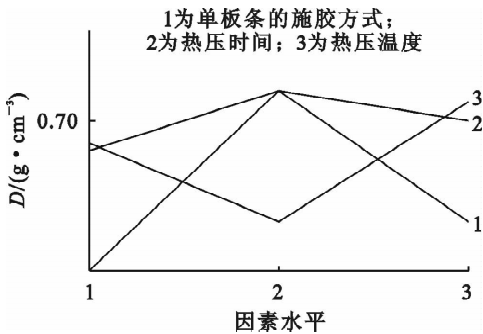


图 5 密度与因素水平的关系

Fig. 5 Relationship between density and factor level

初始设计 PSL 的含水率为 6%,由于单板条在施胶尤其是浸胶后,含水率较高,在压板过程中容易将胶挤出,故在压板前需先干燥,降低单板条含水率。其中热压温度对 PSL 的含水率变化影响最大。温度越高,PSL 水分蒸发,含水率降低。由图 6 与图 2~图 4 对比可知,单板条的含水率越低,PSL 的静曲强度、弹性模量及内结合强度越大。

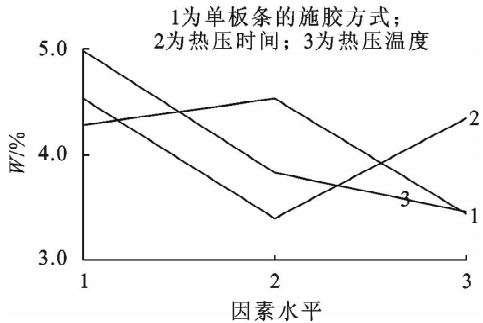


图 6 含水率与因素水平的关系

Fig. 6 Relationship between MC and factor level

由图 7 可知,随着热压温度的升高、热压时间的延长,吸水厚度膨胀率降低。但随着热压温度的升

高,热压时间的延长,PSL 的吸水厚度膨胀率又逐渐增大。随着板材密度增大,吸水厚度膨胀率增大。

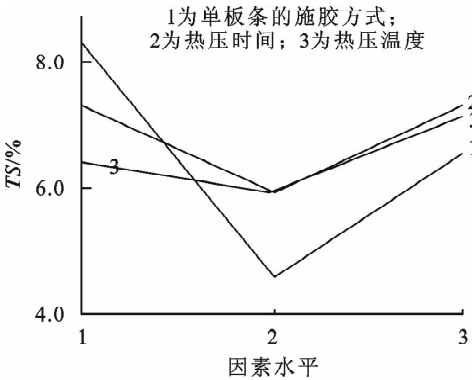


图 7 吸水厚度膨胀率与因素水平的关系

Fig. 7 Relationship between TS and factor level

3 结论与建议

单板条的尺寸形态对其吸胶量没有太大的影响,它主要影响产品的均一性和外观质量,选单板条长度为 100 mm 为宜。胶黏剂的胶液浓度是影响吸胶量的重要因素,选用胶液浓度为 30% 的酚醛树脂胶。

施胶方法是影响 PSL 力学性能的重要因素。采用浸胶方式制成的 PSL 的静曲强度最大,而采用拌胶和喷胶方式制成的 PSL 的静曲强度相继减小。采用喷胶方式时制作的 PSL 的弹性模量最大。采用拌胶方式时制作的 PSL 的内结合强度最大。

热压时间对 PSL 的物理力学性能有显著的影响。35 min 时 PSL 的静曲强度、弹性模量和内结合强度可达到最大。热压温度对 PSL 的物理力学性能也有着显著的影响。本实验中当温度为 150℃时静曲强度最大;随着热压温度的升高,其弹性模量和内结合强度也随之升高。

单板条的含水率越低,PSL 的静曲强度、弹性模量及内结合强度越大。随着热压温度的升高、热压时间的延长,吸水厚度膨胀率降低。但在经过一段时间后随着热压温度的升高,热压时间的延长,PSL 的吸水厚度膨胀率又逐渐增大。

从 PSL 的物理力学强度和性能均一性考虑,以单板条长度为 100 mm,采用喷胶方式,热压时间为 35 min、热压温度为 150℃时制作的 PSL 的力学强度和产品的性能较好。

参考文献:

[1] CLOUSTON P. Characterization and strength modeling of parallel-strand lumber[J]. Holzforschung, 2007, 61(4):394-399.
[2] LIU Y H, LEE, ANDY W C. Selected properties of parallel

strand lumber made from southern pine and yellow-poplar [J]. *Holzforschung*,2003, 57(2):207-212.

[3] LEE, ANDY W C, LIU Y H. Bending creep of small samples from parallel strand lumber [J]. *Forest Products Journal*, 2007, 57(9):73-78.

[4] SUKONTASUKKUL, LAM P F, MINDESS S. Fracture of parallel strand lumber (PSL) under impact loading[J]. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 2000, 33 (231):445-449.

[5] BARRY G, PAUL M, JODY J, *et al.* Marine borer degradation of treated and untreated parallel strand lumber panels [J]. *Forest Products Journal*,2007,57(4):72-76

[6] 王志强,卢晓宁,沈猛,等. 阻燃杨木碎单板条层积材研究[J]. *山东林业科技*,2010(4):13-15.

WANG Z Q, LU X L, SHEN M, *et al.* Study on properties of the fire-retardant poplar parallel strand lumber[J]. *Shandong Forestry Science and Technology*, 2010(4):13-15.

[7] 王宏棣,时兰翠.单板条平行成材(PSL)研究现状及发展趋势[J]. *林业科技*,2007,32(4):51-53.

[8] 金维洙,蔡立新.定向成材发展情况及前景分析[J]. *木材加工机械*,1997(3):2-3,6.

[9] 高婧,王石建,朱祥光,等. 工艺因子对杨木碎单板 PSL 材性变异性的影响[J]. *林业科技开发*,2011,25(1):57-59.

GAO J, WANG S J, ZHU X G, *et al.* Influence of technology factors on property variation of PSL made of Poplar veneer pieces[J]. *China Forestry Science and Technology*, 2011,25 (1): 57-59.

[10] 范艳仔,许若璇,谢长春,等. 利用碎单板制造平行胶合材的研究[J]. *林产工业*,1993,20(4):5-9.

[11] 陈桂华. 浸胶法生产单板条层积材工艺研究[J]. *建筑人造板*, 1995(2):6-8.

[12] 陈志林,张勤丽,洪中立. 杨木单板条层积材工艺参数的研究[J]. *林产工业*,1994,21(4):10-13.

[13] 陈桂华,胡积昌,程良松. 泡桐单板条层积材工艺研究[J]. *林业科技*,2006,31(1):35-37.

CHEN G H, HU J C, CHEN L S. Study on the technology of Paulownia PSL [J]. *Forestry Science and Technology*, 2006,31(1):35-37.

[14] 陈桂华,向仕龙,廉可风. 单板条层积材的研究[J]. *林产工业*, 1993,20(5):6-8.

[15] 陈志林,张勤丽,洪中立. 杨木单板条层积材热压工艺的研究[J]. *木材工业*,1994,8(2):13-16.

CHEN Z L, ZHANG Q L, HONG Z L. A study on the hot pressing technology of parallel strand lumber made of poplar [J]. *Wood Industry*, 1994,8(2):13-16.

(上接第 231 页)

[2] 郭文福. 热带树种山白兰人工幼林的生长规律[J]. *林业科学研究*,1997,10(1):60-63.

GUO W F. The seasonal rhythm and growth of the yong plantation of a tropical tree species *Paramichelia baillonii* [J]. *Forest Research*,1997,10(1):60-63.

[3] 林玉清. 华安县引种山桂花的效果[J]. *林业勘察设计*, 2010, (1):169-171.

[4] 翁启杰. 山桂花栽培技术[J]. *林业科技开发*,2007,21(3):95-96.

[5] 杜洪双,唐朝发,李杉,等. 百度试验确定干燥基准在铁木上的应用[J]. *木材加工机械*,2003(4):19-23.

DU H S, TANG C H, LI S, *et al.* Defining the drying schedule being used in hop-hornbeam with 100℃ test method[J]. *Wood Processing Machinery*,2003(4):19-23.

[6] 刘元,吴义强,乔建政,等. 桉树人工林木材的干燥特性及干燥基准研究[J]. *中南林学院学报*,2002,22(4):44-49.

LIU Y, WU Y Q, QIAO J Z, *et al.* A Study of drying characteristics and drying schedules of *Eucalyptus* plantation wood [J]. *Journal of Central South Forestry University*, 2002, 22 (4):44-49.

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

HE Q H. A simple determination method of wood drying schedule—100℃ drying test method[J]. *China Wood Indus-*

try,1998,12(6):39-41.

[8] 刘志军,张璧光. 百度试验法测杨木干燥基准的初步研究[J]. *干燥技术与设备*,2006,4(1):32-35.

LIU Z J, ZHANG B G. Study on drying schedule of poplar [J]. *Drying Technology & Equipment*, 2006,4(1): 32-35.

[9] 成俊卿. 木材学[M]. 北京:中国林业出版社,1985.

[10] 高瑞清,滕通彦. 百度试验中木材的干缩特性与木材开裂的关系分析[J]. *林业科技通讯*,1998,(4):4-6.

[11] 戴于龙,黄月瑞,刘渝,等. 推广预测木材干燥基准的百度试验法的可行性探讨[J]. *北京林学院学报*,1985,6(1):19-29.

DAI Y L, HUANG Y R, LIU Y, *et al.* Feasibility of a new method for determination of kiln-drying schedule of wood[J]. *Journal of Beijing Forestry College*, 1985,6(1):19-29.

[12] 何定华,林文洁. 24 种南方阔叶树材的干燥特性及窑干基准[J]. *木材工业*,1990,4(4):12-18.

HE D H, LIN W J. The drying characteristics and kiln drying schedules on 24 species of hardwood from South China[J]. *China Wood Industry*, 1990,4(4):12-18.

[13] 李娜,何定华,滕通彦. 五种福建阔叶树材的干燥特性[J]. *木材工业*,1993,7(1):30-33.

LI N, HE D H, TEN T L. The drying characteristics of five hard wood from Fujian Province[J]. *China Wood Industry*, 1993,7(1):30-33.