

DOI: 10.12326/j.2096-9694.2020141

刨花尺寸及配比对刨花模压托盘 物理力学性能的影响

滑亚婷^{1,2}, 杨飞^{1,2,3}, 刘乐群^{1,2,3}, 刘震涛^{1,2,3}, 吴侨立⁴

(1. 沛诺新材料研究院, 浙江杭州 310023; 2. 杭州沛诺包装科技有限公司, 浙江杭州 311115;

3. 浙江省林业科学研究院, 浙江杭州 310023; 4. 杭州国立工贸集团有限公司, 浙江杭州 310023)



摘要: 为优化刨花模压托盘的生产工艺, 以废弃实木、胶合板破碎刨花为原料, 通过筛分重组, 探究刨花尺寸、配比对模压托盘性能的影响。研究表明: 在相同的热压工艺条件下, 小尺寸刨花含量越高, 托盘板面密度越小、吸水厚度膨胀率越低。单一尺寸刨花制备的托盘的内结合强度、加强筋抗弯强度随着刨花尺寸的减小而逐渐升高; 不同刨花尺寸配比制备的模压托盘, 小尺寸刨花对大尺寸刨花间隙的填充作用可提高托盘的内结合强度和加强筋抗压强度。建议选用中尺寸刨花和小尺寸刨花占比均高于30%的配比, 以获得整体及各部位都具有较高力学强度的刨花模压托盘。

关键词: 模压托盘; 刨花尺寸; 物理力学性能

中图分类号: TS653; S784

文献标识码: A

文章编号: 2096-9694 (2021) 05-0038-06

The Effects of Wood Particle Size and Content Ratio on the Physical and Mechanical Properties of Molded Wood Pallets

HUA Ya-ting^{1,2}, YANG Fei^{1,2,3}, LIU Le-qun^{1,2,3}, LIU Zhen-tao^{1,2,3}, WU Qiao-li⁴

(1. Penno New Materials Institute, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 2. Hangzhou Penno Packagtech Technology Co. Ltd,

Hangzhou 311115, Zhejiang, China; 3. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, Zhejiang, China;

4. Hangzhou Guoli Industrial and Trading Group Co. Ltd, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: In order to optimize the manufacturing process, this study explored molded wood pallets made from particles of recycled wood and plywood. The effect of particle size and content ratio on the performance of molded wood pallets was examined. The research results showed that, under the same hot-press conditions, the higher the content of small-size shavings, the lower the surface density and the thickness expansion rate of water absorbing of the pallet. When the pallets were made with single-size particles, the bonding strength of the pallets and the bending strength of the stiffeners gradually increased as the size of the particles decreased respectively. When the wood pallets were prepared with mixed particles sizes and content ratios, the filling effect of small-size particles on the gap of large-size particles

收稿日期: 2020-09-20; 修改日期: 2021-05-08

基金项目: 杭州市主动设计重大专项“农林剩余物模压制备刨花成型托盘关键技术与产业化”(20172016A10); 浙江省省院合作重点专项“农林废弃物模压制备刨花成型托盘关键技术研究”(2017SY07); 国家标准研究项目“竹木刨花模压托盘通用技术条件”(20180966-T-432); 林业行业标准研究项目“模压托盘运输及使用要求”(2018-LY-012)。

作者简介: 滑亚婷(1994—), 女, 助理工程师。Email: 1104361372@qq.com

通讯作者: 刘乐群, 男, 教授级高级工程师。Email: llq234@sina.com

improved the bonding strength and the stiffeners' compressive strength respectively. It was recommended to choose a ratio containing more than 30% of combining medium-size particles and small-size particles in the production of wood pallets in order to obtain higher mechanical strength of the entire pallet and each part of the pallet respectively.

Key words: molded wood pallet; particle size; physical and mechanical properties

托盘是用于物流装卸、搬运和运输的一种重要装备,是现代物流体系中的基本作业单元^[1]。2019年,我国托盘市场保有量约14.5亿片,托盘年产量约3亿片^[2]。木材是最早用于托盘制备的材料,实木托盘占据市场份额80%以上^[3],但实木托盘对于木材的消耗量大,且寿命只有一年左右^[4]。我国木材资源短缺,充分利用低质木材资源(如小径级材、加工剩余物、废旧胶合板等)越来越受到重视。美国、德国已相继开发出模压托盘,以减少对优质木材资源的消耗^[5]。

刨花模压托盘是将施胶后的刨花,放入专用的金属模具,在一定温度和压力的作用下一性固化成型的整体构件^[6],包括承载面、支撑腿和加强筋等结构,具有原材料来源广、成本低、承载强度高、进出口免熏蒸处理等优点。

目前国内关于模压托盘性能影响因素的研究主要集中在生产工艺、托盘结构等方面^[7-9],而托盘原料规格尺寸的影响鲜见报道。本研究对不同尺寸刨花配比制备的模压托盘的物理力学性能进行了测定和分析,以期通过控制刨花原料的规格形态来提升模压托盘的性能,为刨花模压托盘开发与应用提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

刨花:以回收的废弃实木及胶合板为原料,由粉碎机(筛网孔径18 mm)破碎加工,长度<50 mm,宽度、厚度<18 mm,烘干至含水率3%~5%。

脲醛树脂胶,外购,固体含量53%,黏度64 mPa·s (25 °C),游离甲醛含量0.13%,pH值8.1,固化时间120 s。

1.2 试验装置

自动拌胶机、振动筛、托盘热压机、恒温恒湿箱、万能力学试验机、托盘力学试验机、鼓风干燥箱等。

1.3 试验方法

1.3.1 刨花筛分

使用筛分机以孔径为7、10 mm的筛网对刨花原料进行筛分,将其分为大、中、小3种尺寸规格,在形态上有较明显的区别,如图1所示。



图1 三种尺寸刨花形态

Fig.1 Three different sizes and shapes of particles

大尺寸刨花(不通过10 mm筛网的刨花):由长度、宽度大于10 mm的块状、片状刨花和长度大于20 mm的条状刨花组成;

中尺寸刨花(通过10 mm但不通过7 mm筛网的刨花):由长度大于7 mm小于10 mm条状刨花或长度大于10 mm的细条状刨花组成;

小尺寸刨花(通过7 mm筛网的刨花):由尺寸小于7 mm的细碎刨花和长度小于10 mm的细条状刨花组成。

大、中、小三种尺寸刨花筛分值分别为11%、24%、65%。结合密实堆积经验比例^[10],将三种尺寸的刨花按7种质量配比(表1)混合进行模压托盘的制备。

1.3.2 托盘模压

试验托盘规格为1 010 mm×1 010 mm×125 mm,每张托盘用刨花12.6 kg,施胶量16%,则每张托盘所需脲醛树脂胶2.4 kg。手工铺装,使刨花料充满模腔,且上表面平整,在相同的热压条件(温度180 °C、压力10.05 MPa、时间6 min)下固化成型。每种试验编号模压托盘制备5张,共计35张。模压托盘的基本成型形状如图2所示。

表1 模压托盘用刨花配比			
Tab.1 Particle ratios for molded wood pallets			
试验编号	刨花类型		
	大尺寸	中尺寸	小尺寸
A	1	0	0
B	0	1	0
C	0	0	1
D	1	1	1
E	6	1	3
F	3	6	1
G	1	3	6

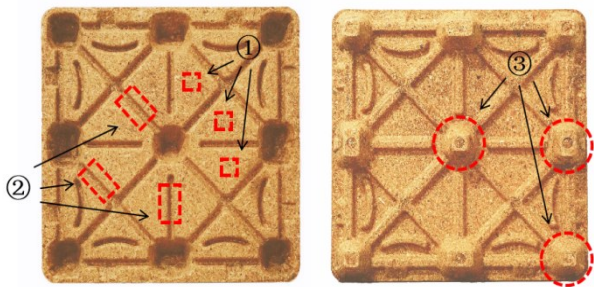


图2 模压托盘基本成型形状及试件裁取位置示意图
Fig.2 The shape of the molded wood pallet and the locations of the testing specimens

1.4 性能测试

GB/T 30672—2014《模压平托盘 植物纤维类》规定，参照 GB/T 17657—2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》，从每组5张模压托盘中随机抽取2张，每个编号托盘各裁取密度试件6个、含水率试件6个、吸水厚度膨胀率试件3个和内结合强度试件3个，裁取位置如图2中区域①所示，按照相应标准规定的方法测定各项性能。

参照 GB/T 4996—2014《联运通用平托盘 试验方法》，采用整张托盘测试叉举抗弯强度，每个编号托盘测试3张。

参照 GB/T 17657—2013中4.7的规定测定抗弯性能，取150 mm长的加强筋（保留加强筋两侧外边缘尺寸为20 mm）4个，跨距100 mm，裁取位置如图2中区域②所示，测试加强筋抗弯承载力。

参照 GB/T 22350—2017《成型胶合板》6.3.3.3.1中的规定，每个编号托盘裁取完整支撑腿（上表面外边缘尺寸≥20 mm）3个，裁取位置如图2中区域③所示，倒扣在力学试验机上进行支撑腿抗压性能的测定，记录支撑腿抗压承载力值^[11]。

2 结果与分析

2.1 刨花尺寸及对比对模压托盘物理性能的影响

模压托盘试件的主要物理性能测试结果列于表2，物理性能的单因素方差分析结果列于表3。

表2 模压托盘的物理性能			
Tab.2 Physical properties of molded wood pallets			
试样编号	板面密度/ (g·cm ⁻³)	含水率/ %	24 h吸水厚度 膨胀率/%
A	0.92(0.09)	6.18(0.002)	38.22(0.02)
B	1.07(0.02)	6.08(0.004)	39.23(0.08)
C	0.89(0.04)	7.02(0.004)	22.71(0.08)
D	0.87(0.02)	6.81(0.002)	32.30(0.01)
E	0.92(0.03)	6.65(0.006)	30.66(0.06)
F	0.92(0.04)	6.87(0.005)	48.05(0.02)
G	0.83(0.02)	7.34(0.004)	28.67(0.03)

注：括号内数据为标准差。

表3 物理性能单因素方差分析						
Tab.3 One-way analysis of variances for physical properties						
物理性能	差异源	平方和	自由度	均方	<i>F</i>	临界值
板面密度	组间	0.212	6	0.035	15.074	$F_{0.01}(6, 35)$ =3.368
	组内	0.082	35	0.002		
	总计	0.294	41			
含水率	组间	0.001	6	0.00012	6.411	$F_{0.01}(6, 14)$ =4.46
	组内	0.001	35	0.00002		
	总计	0.001	41			
24 h吸水 厚度膨胀 率	组间	0.124	6	0.021	7.911	$F_{0.01}(6, 14)$ =4.46
	组内	0.036	14	0.003		
	总计	0.160	20			

2.1.1 板面密度

不同规格尺寸刨花制备模压托盘的板面密度范围为0.83~1.07 g/cm³。由表3可知， $F > F_{0.01}$ ，说明不同刨花尺寸及对比对模压托盘板面密度影响显著。单一尺寸刨花制备的A~C托盘中，小尺寸刨花制备的C托盘板面密度最小，中尺寸刨花制备的B托盘板面密度最大。而3种尺寸刨花以不同配比制备的D~G模压托盘，小尺寸刨花含量较高的G托盘板面密度最小，大尺寸刨花含量较高的E托盘板面密度最大。试验中发现，在模压托盘的铺装过程中，小尺寸刨花更容易分布在下层模具的支撑腿与加强筋内。在刨花质量及模具模腔尺寸一定的情况下，小尺寸刨花含量越高，沉积到支撑腿与加强筋内的刨花越多，则板面所含刨花相对减少，因此托盘板面密度越小。

2.1.2 含水率

模压托盘试件的含水率范围在6.08%~7.34%，由表3结果可知， $F > F_{0.01}$ ，说明不同刨花尺寸及对比对模压托盘含水率影响显著。

单一尺寸刨花制备的托盘中，小尺寸刨花制备的C托盘含水率最高，大、中尺寸刨花制备的B托盘的相对较低。3种尺寸刨花以不同配比制备的D~G托盘中，亦是小尺寸刨花含量较高的F托盘的含水率最高，大尺寸刨花含量较高的E托盘的含水率较低。其原因与刨花比表面积和孔隙率有关。大尺寸刨花比表面积相对较小，且刨花间间隙相对较大，热压过程中水蒸气易于逃逸，使大尺寸刨花托盘A含水率较低。

2.1.3 吸水厚度膨胀率(24 hTS)

由表3结果可知， $F > F_{0.01}$ ，说明不同刨花尺寸及对比对模压托盘吸水厚度膨胀率影响显著。

单一尺寸刨花制备的模压托盘中，小尺寸刨

花制备的C托盘的24 hTS最低，中尺寸刨花制备的B托盘的最高。3种尺寸刨花以不同配比制备的模压托盘，小尺寸刨花含量较高的G托盘的24 hTS最低，小尺寸刨花含量较低的F托盘的24 hTS最高。分析可知，托盘24 hTS随着小尺寸刨花含量增加而降低。不同尺寸的刨花混合使用时，小尺寸刨花含量增加，则在铺装过程中垂直于板面分布的刨花相对增多^[12]，从而减小了托盘吸湿后的厚度变形；并且随着刨花尺寸的减小，刨花之间的间隙会变小，减少了成型后托盘内空隙率，进一步降低了模压托盘的吸水膨胀率。

2.2 刨花尺寸及对比对力学性能的影响

模压托盘的力学性能测试结果如图3所示，力学性能的单因素方差分析结果列于表4。

2.2.1 内结合强度

由表4可知， $F > F_{0.01}$ ，说明不同刨花尺寸及对比对模压托盘内结合强度影响显著。

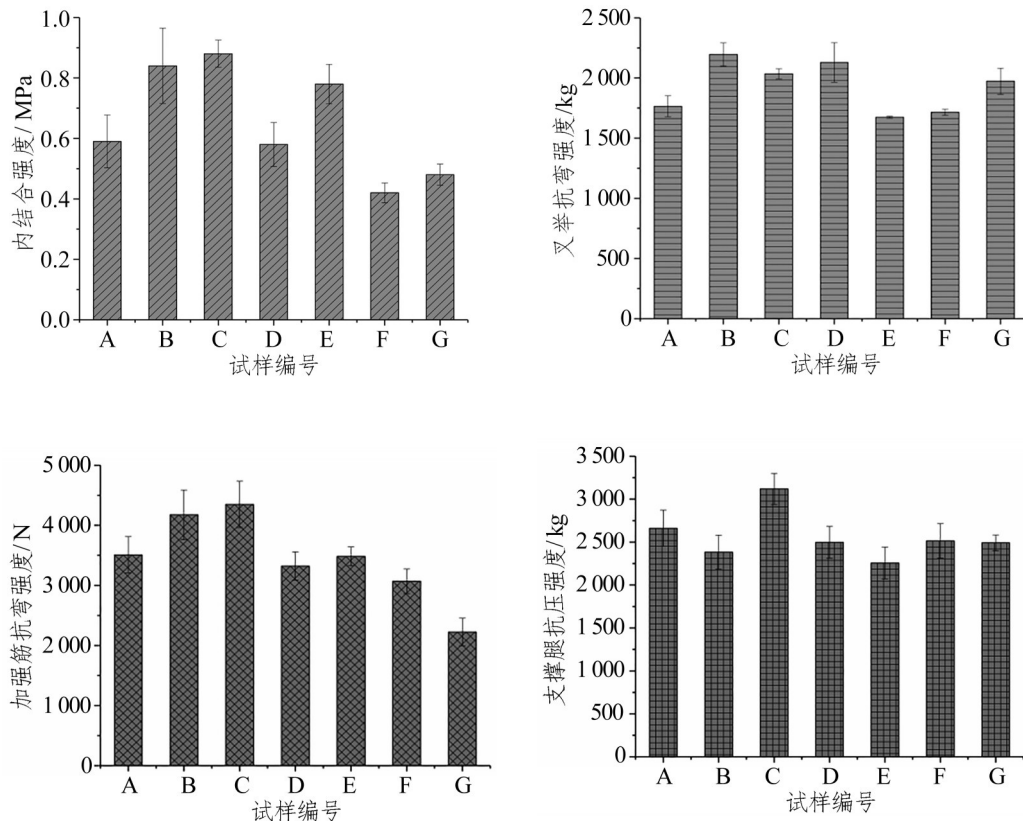


图3 模压托盘的力学性能

Fig.3 Mechanical properties of molded wood pallets

表4 力学性能单因素方差分析
Tab.4 One-way analysis of variances for mechanical properties

物理性能	差异源	平方和	自由度	均方	<i>F</i>	临界值
内结合强度	组间	0.572	6	0.095	11.855	$F_{0.01}(6, 35) = 3.368$
	组内	0.113	14	0.008		
	总计	0.684	20			
叉举抗弯强度	组间	786782.946	6	131130.491	11.474	$F_{0.01}(6, 14) = 4.46$
	组内	159992.900	14	11428.064		
	总计	946775.846	20			
加强筋抗弯强度	组间	12006331.210	6	2001055.202	17.975	$F_{0.01}(6, 21) = 3.81$
	组内	2337821.750	21	111324.845		
	总计	14344152.960	27			
支撑腿抗压强度	组间	1371364.232	6	228560.705	4.556	$F_{0.01}(6, 14) = 4.46$
	组内	702270.595	14	50162.185		
	总计	2073634.827	20			

单一尺寸刨花制备的模压托盘，C 托盘的内结合强度最高。这是因为刨花尺寸小，刨花之间的间隙减小，而刨花本身的比表面积大，则胶合面积大，因此内结合强度较高。

对比不同尺寸配比刨花模压托盘的内结合强度，F 托盘小尺寸刨花含量最低，内结合强度最低，为 0.42 MPa，符合前述。E 托盘大尺寸刨花含量较高，但内结合强度高，为 0.78 MPa。编号 E 中大尺寸刨花占 60%，胶合后体系内大刨花间搭接交缠，又有一定量小尺寸刨花填充大刨花间隙，增大了刨花间胶合面积，形成了紧密连接的胶合体系，从而提高了整体的内结合强度。

综上，单一尺寸刨花制备的模压托盘的内结合强度随着刨花尺寸减小而逐渐提高；不同尺寸混合刨花制备的模压托盘，当大尺寸刨花含量超过 60% 时，小尺寸刨花的存在，可填充刨花间隙，从而提高模压托盘的内结合强度；但当大尺寸刨花含量少于 10% 时，会引起模压托盘内结合强度的降低。

2.2.2 叉举抗弯强度

由表 4 可知， $F > F_{0.01}$ ，说明不同刨花尺寸及配比对模压托盘叉举抗弯强度影响显著。

叉举抗弯性能是评判托盘动载性能的重要指标，是在叉车作业时支撑托盘承受的最大力值^[9]。单一尺寸刨花制备的模压托盘中，大尺寸刨花制备的 A 托盘的叉举抗弯强度最低，中尺寸刨花制备的 B 托盘的最高。分析原因为中尺寸刨花颗粒均

匀，形态差异较小，易于铺装均匀；而大尺寸刨花比表面积较小，刨花间间隙率较大，导致施胶面较小，使其叉举抗弯性能最低。

3 种刨花以不同配比混合制备的模压托盘中，配比相等的 D 托盘叉举抗弯强度最高，由于三种尺寸刨花分布均匀，且小刨花充分填充了大尺寸刨花的间隙，形成了更完整的胶合体系。

2.2.3 加强筋抗弯性能

由表 4 可知， $F > F_{0.01}$ ，说明不同刨花尺寸及配比对模压托盘加强筋抗弯强度影响显著。

加强筋是位于成型刨花模压托盘承载面上用于提高托盘承载面强度的模压凸出的条形部位^[13]。试验选用模具加工出的加强筋为半径约 10 mm 的半圆形异形结构体，上表面宽约 45 mm，下表面宽约 25 mm。单一尺寸刨花制备的模压托盘，C 托盘加强筋抗弯强度最大，A 托盘的最小。分析其原因：大尺寸刨花之间空隙较多，分布在加强筋内部的刨花料量较少，导致加强筋密度较低，因此在抗压试验中能承受的载荷较小。

3 种尺寸刨花以不同配比混合制备的模压托盘加强筋的抗弯极限载荷，G 托盘的最低，这是因为在体积一定且容积较小的加强筋内，大尺寸刨花较少，大尺寸刨花周围的胶合强度较低，试验中会产生应力集中，使加强筋抗弯强度大幅下降。E 托盘加强筋的抗弯强度最大，其三种尺寸刨花的配比最接近于紧密堆积经验比例，大尺寸刨花含量较高，又有小尺寸刨花对大尺寸刨花间的空隙

进行填充,因此其刨花间的间隙减少,从而提高抗弯强度。

2.2.4 支撑腿抗压强度

由表4可知, $F > F_{0.01}$, 说明不同刨花尺寸及对比对模压托盘加强筋抗弯强度影响显著。

模压托盘的支撑腿是托盘下方模压成型凸出用于支撑托盘载荷并将托盘载荷传递至地面的部位^[18]。单一尺寸刨花制备的模压托盘的支撑腿抗压强度排序为: B托盘<A托盘<C托盘。C托盘中小尺寸刨花间的间隙较小, 故其支撑腿抗压强度最高。

3种尺寸刨花以不同配比制备的托盘支撑腿的抗压极限载荷, 以F托盘最高; E托盘最小。这是因为F托盘的中、小尺寸刨花对大刨花间隙进行了填充, 使托盘支撑腿的胶合强度提升; E托盘的大尺寸刨花含量较高, 且刨花间隙较大, 影响托盘强度。

3 结论

1) 刨花尺寸及对比对模压托盘的物理力学性能均影响显著。

2) 相同热压工艺下, 小尺寸刨花含量越高, 托盘板面密度越小、吸水厚度膨胀率越低。

3) 单一尺寸刨花制备的托盘内结合强度、加强筋抗弯强度, 随着刨花尺寸的减小而逐渐提高。不同尺寸混合刨花制备的托盘, 大尺寸刨花含量60%时叉举抗弯强度最低, 但小尺寸刨花对大尺寸刨花间隙的填充作用可提高托盘的内结合强度和加强筋抗压强度; 原料中大尺寸刨花含量10%时, 会造成托盘内结合强度和加强筋抗压强度的降低。

4) 在实际生产中使用的往往不是单一尺寸刨花料, 建议选用中尺寸刨花和小尺寸刨花占比均

高于30%的配比, 以获得托盘整体及各部位都具有较高的力学强度的刨花模压托盘。

参考文献:

- [1] 徐淳. 小径木通用平托盘力学性能研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2018.
- [2] 孙熙军. 托盘行业: 总体向上, 前景广阔[J]. 物流技术与应用, 2020, 25(3): 64-65.
- [3] 李文燕, 王翠翠, 王丹丹, 等. 木质刨花模压工业托盘生产工艺分析[J]. 木材加工机械, 2016, 27(6): 47-49.
LI W Y, WANG C C, WANG D D, et al. The production process of molded particle industrial pallet[J]. Wood Processing Machinery, 2016, 27(6): 47-49.
- [4] 杨世军, 杨学春, 尤浩田. 木托盘的发展前景及存在的问题研究[J]. 森林工程, 2013, 29(2): 135-138, 160.
YANG S J, YANG X C, YOU H T. Study on the development prospects and existing problems of wooden pallets[J]. Forest Engineering, 2013, 29(2): 135-138, 160.
- [5] 李大纲, 田少娟, 李玲, 等. 杨木刨花模压平面工业托盘的研究[J]. 湖南工业大学学报, 2007, 21(5): 6-8.
LI D G, TIAN S J, LI L, et al. Study on the plat-presswood pallet by poplar particles[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2007, 21(5): 6-8.
- [6] 杜丹克. 竹加工废弃物模压托盘的结构研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- [7] 牛笑一, 吴俊华, 王艳国, 等. 臭冷杉刨花模压平面托盘的工艺和性能研究[J]. 包装工程, 2013, 34(11): 51-54.
NIU X Y, WU J H, WANG Y G, et al. Technology and performance of *Abies nephrolepis* wood shavings molded tray[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(11): 51-54.
- [8] 周振兴, 刘豪进, 赵炎康. 可内嵌RFID模块模压托盘的结构设计[J]. 山东化工, 2019, 48(9): 224-226, 236.
ZHOU Z X, LIU H J, ZHAO Y K. Structural design of moulded pallet with embedded RFID module[J]. Shandong Chemical Industry, 2019, 48(9): 224-226, 236.
- [9] 周艳. 竹质托盘性能检测方法与标准化研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2018.
- [10] 曾凡, 胡永平. 矿物加工颗粒学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1995.
- [11] 杨飞, 刘乐群, 吴侨立, 等. 酚醛树脂刨花模压托盘生产工艺[J]. 木材工业, 2020, 34(6): 53-57.
YANG F, LIU L Q, WU Q L, et al. Making molded pallets from wood particles bonded with phenolic formaldehyde adhesive[J]. China Wood Industry, 2020, 34(6): 53-57.
- [12] 中日技术合作研究项目课题组, 刘菊荣. 不同树种不同形态的刨花对刨花板质量影响的研究[J]. 林业科技, 1990(1): 27-35.
- [13] GB/T 3716—2000[S], 托盘术语.

(本文编校 张鹏、向琴)