

基于单板的木塑复合板材制备及包装应用性能研究

曹旭东, 赵妍, 母军

(北京林业大学 材料科学与技术学院, 北京 100083)

摘要: **目的** 研究塑料代替传统胶黏剂制得木塑复合材料的性能, 及其在包装领域的应用特性。**方法** 以桉木单板为原料, 采用热压成型的方式, 利用单因素分析热压温度和塑料种类对板材性能的影响, 通过 Ansys Workbench 软件建立包装托盘的有限元模型, 并分析其在静态弯曲条件下包装托盘的受力情况和承载特性。**结果** 木塑复合板材的优化热压温度为 180 °C, 此温度下所制得板材可满足 II 类胶合板的要求。9 层复合板材制备的木塑托盘受到静载时托盘的上连板与中面板接触点的影响, 左右两侧部位为破坏点, 最大应力发生在上连板与中面板的接触位置。**结论** HDPE 和 PVC 等 2 种塑料薄膜代替传统胶黏剂所制备的板材符合国家标准, 可应用于包装托盘的原材料。

关键词: 木塑托盘; 木塑复合板材; 物理力学性能; 仿真分析

中图分类号: TB332 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)11-0085-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.11.013

Preparation and Packaging Application Properties of Wood-plastic Composite Sheet Based on Veneer

CAO Xu-dong, ZHAO Yan, MU Jun

(School of Material Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: The work aims to study the properties of wood-plastic composites made of plastics instead of traditional adhesives and their application characteristics in the field of packaging. The eucalyptus veneer was used as raw material and hot pressed. The influence of hot pressing temperature and plastic type on the sheet properties was analyzed by single factor experiment. The finite element model of the packaging pallet was established by Ansys Workbench software. The force and bearing characteristics of the packaging pallet under static bending conditions were analyzed. The optimized hot pressing temperature of the wood-plastic composite sheet was 180 °C. The sheet made at this temperature could meet the requirements of class II plywood. The wood-plastic pallet prepared by the 9-layer composite sheet was affected by the contact point between the upper connecting plate and the middle panel of the pallet under static load. The left and right sides were broken points, and the maximum stress occurred at the contact position between the upper connecting plate and the middle panel. The sheets prepared by HDPE and PVC films instead of traditional adhesives meet the national standards, and they can be used as raw materials for packaging pallets.

KEY WORDS: wood-plastic pallet; wood-plastic composite sheet; physical and mechanical properties; simulation analysis

收稿日期: 2019-10-21

基金项目: 中央高校基本业务费 (2015ZCQ-CL-01); 北京林业大学中央高校基本科研业务费专项资金 (2017ZY28)

作者简介: 曹旭东 (1995—), 男, 北京林业大学硕士生, 主攻木质材料制备及阻燃。

通信作者: 母军 (1970—), 女, 北京林业大学教授, 主要研究方向为木质生物质材料利用。

随着现代绿色物流包装的蓬勃发展,以散装、人力搬运为主的包装运输方式正在渐渐淡出市场,更多的是包装托盘、机械搬运等现代物流运输方式。由于木材本身存在材质不均、含水量高等缺点,导致木托盘综合力学性能差,容易造成霉变,污染产品^[1-2];木制托盘的制作还会大量消耗木材资源,造成木材的严重浪费,不符合绿色发展的趋势^[3]。近些年由于木托盘本身存在检疫问题,导致其逐渐被排挤出国际市场^[4],但木塑复合材料在托盘上的应用前景则十分广阔。经各项数据表明,木塑托盘已经在各个国家广泛运用,渐渐取代木托盘的使用。木塑托盘具有性能一致、品质均匀和力学性能好等特点,应用规模大,成形能力强,在生产和使用中均无游离甲醛释放^[5-6],且木塑托盘的制备以废弃塑料作为粘接材料,不但减少废弃物对环境的污染,实现不可降解塑料的再次利用,还能使植物秸秆充分利用,保护资源,从而真正实现绿色可持续发展^[7-8]。

NAJAFI等^[9]运用热压成型的方法制备了新型木塑复合材料,对其力学性能和吸水性进行研究,对木塑托盘检测标准的制定提供了一定的参考。方露等^[10]制备了5层HDPE木塑复合材料,分析了热压温度、热压时间和薄膜用量等3个变量对木塑复合板材性能的影响。任从容等^[11]采用正交表进行了试验设计,分析了热压温度、热压时间、热压压力和聚乙烯膜用量对复合材料物理力学性能的影响。沈丹丹等^[12]研究了木托盘的抗弯性能,在有限元仿真分析过程中,通过改变单元格类型和网格划分的方式,得到的仿真分析值与理论值基本一致,调整改善影响因素提升了有限元分析的精度。

以热塑性塑料代替胶黏剂作为粘接材料,基于热压-冷压工艺制备一种新型木塑复合板材。系统分析热压温度、塑料类型等因子对板材的物理力学性能和耐水性能的影响,并采用有限元仿真模拟分析研究板材在实际工况条件下的受力情况和承载特性。

1 试验

1.1 材料

桉木单板购于北京木材市场,含水率约为6%,规格为400 mm×400 mm×1.4 mm。HDPE膜与PVC膜购于市场,单层薄膜厚度约为0.03 mm,幅面裁制与试验用桉木单板相同,密度分别为0.95,1.4 g/cm³。异氰酸酯偶联剂(MDI)购于烟台万华聚氨酯股份有限公司,型号为PM-200。

1.2 制备工艺

将HDPE薄膜或PVC薄膜分别铺装于2层单板之间,相邻单板纹理方向垂直正交叠加。MDI偶联剂

质量分数为2%,均匀涂在薄膜的两面。铺装好的板坯先经过热压处理,热压温度为160,180,200℃,热压时间为1.2 min/mm,热压后迅速送入冷压机中进行冷却定型。冷压压力与热压压力均为1.5 MPa,后处理时间为15 min。

1.3 性能测试

热压冷却后的板材经24 h自然堆放后裁边,参照GB/T 17657—2013《人造板及饰面人造板理化性能检测方法》^[13],进行胶合强度、静曲强度、弹性模量、吸水膨胀率及24 h吸水率的性能检测,在不同条件下测10个试件,取平均值。

1.4 有限元分析

采用SolidWorks软件进行三维建模,并将模型导入WorkBench软件进行力学仿真计算,分析9层木塑复合板材装配的托盘模型在不同工况下的应力及位移云图。

参照GB/T 2934—2007^[14],托盘的规格为1200 mm×1000 mm×120 mm。基于特征的参数化造型功能建立木质托盘模型^[15]。

2 基于单板的木塑复合板材制备及性能研究

2.1 热压温度对板材性能的影响

复合板材在制作过程中,热压温度是极其重要的因素。当热压温度超过热塑性塑料熔点时,塑料处于熔融状态,并具有一定的流动性,当其充分熔解并渗透到木材单板中时,与单板胶接形成稳定结构。160,180,200℃等3种热压温度对不同层数板材的性能影响,见图1。

图1a为不同温度下复合板材的静曲强度,图1b为不同温度下复合板材的弹性模量。由图1a可知,在160~200℃的热压温度下,3层板材的静曲强度均小于30 MPa,不符合国家标准。3层板材的静曲强度随温度的升高呈下降趋势,这是由于板材层数少,厚度薄,温度较高时破坏了单板本身的结构,从而导致板材强度与温度呈负相关。5层板材在3个温度梯度下,静曲强度变化很小。热压温度为160℃时,7层与9层的板材静曲强度均为最小值,在180℃时静曲强度为最大值。在180℃的热压温度下,制得板材的静曲强度较大。由图1b可知,随着热压温度的升高,每组不同层数的板材弹性模量变化趋势均有所区别,3层、5层、9层板材都是180℃时达到了最大值,并且随着温度升高,其弹性模量呈先上升后下降的趋势。7层板材则是呈先减小、后增大的趋势。

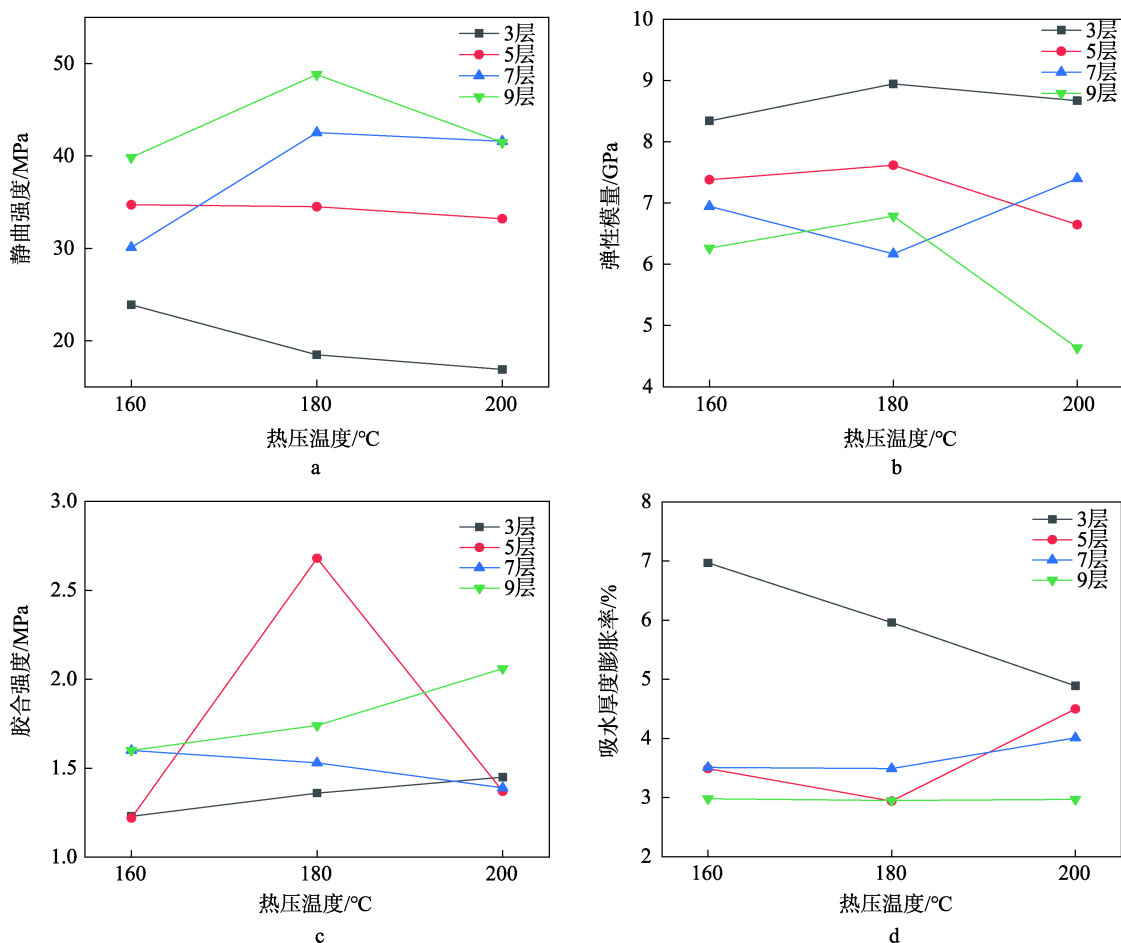


图 1 热压温度对板材性能的影响

Fig.1 Effect of hot pressing temperature on sheet properties

图 1c 为不同热压温度下板材的胶合强度。由图 1c 可知,胶合强度变化最为明显的是 5 层板材,180 °C 时的胶合强度约是 160 °C 和 200 °C 时的 2 倍,这表明 5 层板材作为中等厚度的材料,达到塑料的熔点后,在 180 °C 时 HDPE 的流动性好,充分融入渗透到板材中,该温度也并未破坏单板本身的质量,形成的板材结合强度良好。常用于包装托盘 7 层和 9 层的板材在 180 °C 条件下,胶合强度均达到 1.5 MPa。在复合板材的制备过程中,热压温度是保证塑料融化均匀分布的前提,但在成形过程中还有温度传递的问题,如何保证中间层塑料达到融化温度是需要重点考虑的因素,但温度过高会造成木材的热降解,对材料带来强度损失。综合分析,热压温度达到 180 °C 时,复合板材即可满足 II 类胶合板的要求。

不同热压温度下板材的吸水厚度膨胀率见图 1d。由图 1d 可知,在 3 种不同热压温度下,板材的吸水厚度膨胀率均低于 7%,3 层板材的吸水厚度膨胀率随热压温度的升高逐渐降低,5 层和 7 层板材的吸水厚度膨胀率位于 3%~4.5% 之间,9 层板材的吸水厚度膨胀率低于 3%,其吸水厚度膨胀率与热压温度无明显关系。综合来看,在 180 °C 条件下,板材的吸水厚度膨胀率最小,耐水性能最佳。

与传统胶合板相比,桉木单板-HDPE 复合材料的耐水性能更为优越。这是因为 HDPE 膜是一种耐水性非常好的树脂材料,当 HDPE 膜与桉木单板复合后,HDPE 膜渗透到桉木单板中,一方面可以填充在单板的孔隙性结构中阻碍水分的进入,另一方面能够包覆一部分单板,减缓水分进入的速率,因此在相同的时间内桉木单板-HDPE 复合材料吸收的水分更少,耐水性能更好。

从图 1 可以看出,在热压温度为 180 °C 时,不同层数的复合板材的力学性能和耐水性能均较好。由此可见,180 °C 是 HDPE 薄膜-桉木单板复合板材热压成形时热压温度的优化值。

2.2 塑料种类对木塑复合板材的影响

热压温度为 180 °C 的条件下,2 种塑料薄膜作为胶黏剂对 9 层复合板材板的性能影响见表 1。

对表 1 中力学性能数据进行比较,HDPE 作为胶黏剂时,复合板材的各项性能均高于 PVC 作为胶黏剂所制的板材,其中,板材的弹性模量和胶合强度的性能差异最为明显。HDPE 板材比 PVC 板材的静曲强度高出 3 个百分点,HDPE 所制得板材的弹性模量是 PVC 板材的 1.92 倍,胶合强度是 PVC 板材的 1.23 倍,

表1 塑料类型对复合板材性能的影响
Tab.1 Effect of plastic type on the properties of composite sheet

塑料类型	静曲强度/MPa	弹性模量/GPa	胶合强度/MPa	吸水厚度膨胀率/%
PVC	48.81	1.53	1.67	3.05
HDPE	50.48	2.94	2.06	2.89

因此 HDPE 作为板材胶黏剂所制得板材的性能优于 PVC 所制得板材。

从表1可以看出2种板材的胶合强度均大于1.5 MPa,这与传统胶合板相比有了极大的提升。研究表明,木材属于亲水性材料,而HDPE是疏水性材料,在不经处理的情况下将2种材料直接混合进行热压,2种材料的界面结合效果很差,将其进行热压成形可能无法满足国家标准,但是偶联剂MDI的加入可以很好地解决这一问题。一方面,MDI分子可以改善HDPE/PVC分子、木材之间的相容性,从而提升板材的性能;另一方面,MDI在反应过程中可以通过接枝共聚体使HDPE、PVC基体改性,使材料之间的连接更加紧密,力学性能整体增强。

对表1中吸水厚度膨胀率进行比较,2种塑料作为胶黏剂时板材的吸水厚度膨胀率几乎相同,均约为3%。这主要是因为塑料均为憎水性材料,几乎不吸收水分,影响其吸水厚度膨胀率大小的主要因素是木材。

3 板材在包装托盘中的应用仿真分析

托盘的单元类型为实体四面体单元,各构件之间的接触方式默认为绑定,网格划分采取自动分网方式,划分结果见图2。生成的节点数为25 970,单元数为3224。根据实际流通过程中的工作压力与试验平均压力,确定模拟实际工作载荷压力为10 kN。托盘下表面做固定约束,其余面与面之间全部约束,加载和约束方式见图3。

9层复合板是包装托盘常用的原材料之一。试验中在180℃热压温度条件下所制得9层板材料密度为760 kg/m³,弹性模量为6786 MPa,将其代入泊松比与弹性模量、剪切模量的关系方程: $E=2.0445G+$

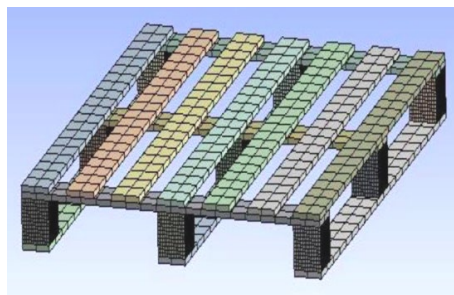


图2 有限元网格模型

Fig.2 Finite element mesh model

$0.0681^{[16]}$, $G=E/2(1+\nu)$, 得到板材的剪切模量为3358.95 MPa。将相关参数输入有限元模型得到9层板的应力及位移云图(见图4—5)。

■ Fixed support
■ Pressure: 8.3 kPa

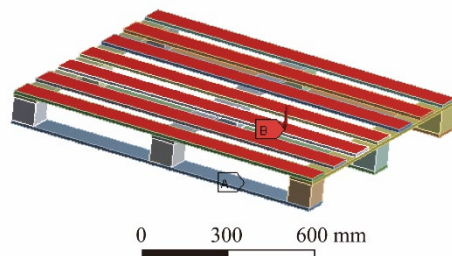


图3 托盘加载和约束方式

Fig.3 Pallet loading and constraint methods

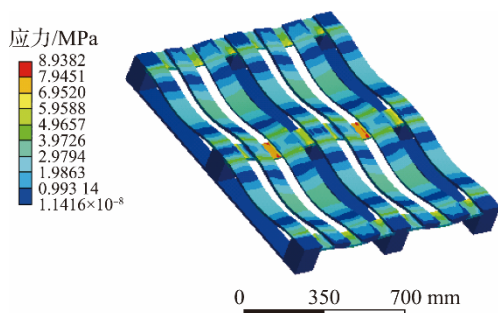


图4 托盘应力云图

Fig.4 Stress contour of pallet

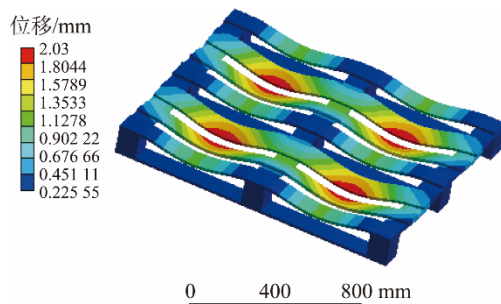


图5 托盘位移云图

Fig.5 Displacement contour of pallet

在静态力作用下,9层复合板材所制得托盘的应力在上连板与各垫块的连接部位变化明显,最大应力发生在上连板与中间内纵梁上的接触位置。托盘上连板有顶面载荷的作用,其应力值从两侧向中间内纵梁部位规律性变化。垫块与下连板不直接受力,在顶面载荷的影响下与垫块、下连板所产生应力小且均匀。

在静态力作用下,9层复合板材所制得托盘的上连板与中间内纵梁接触点的左右2侧中心部位产生最大位移,且由四周向中心以椭圆等值线递增,底部垫块与下连板未产生明显位移且分布均匀。在实际应用中,应针对上连板与中间内纵梁上的接触点、上连板与中间内纵梁的接触点等薄弱部分再进行优化改良设计,从而减小托盘在实际应用过程中的损耗,进一步提升托盘的使用寿命,从而实现更大的经济效益。

4 结语

3种不同热压温度条件下,在180℃时木塑复合板材的物理力学性能最佳。该温度下,5层、7层、9层的复合板材均可满足II类胶合板的要求。

利用HDPE和PVC等2种塑料薄膜代替传统胶黏剂所制备的板材,其物理力学性能优良,均符合国家标准。

对180℃热压温度成形的9层板材所制备的包装托盘进行有限元仿真模拟,将其易发生损坏的薄弱位置进行分析,这对托盘的设计优化具有良好的指导作用。

HDPE和PVC应用和来源广泛,回收利用方便,将HDPE薄膜和PVC薄膜用作板材的原材料,不仅为实现“绿色包装”提供了有力的支撑条件,而且替代了传统胶黏剂,实现了板材的游离甲醛接近零释放。接下来的研究中,通过对板材进行覆膜或涂料处理研究,可进一步提升板材的各项附加性能。

参考文献:

- [1] 宋爱华. 基于托盘应用状况的托盘结构创意设计[J]. 包装工程, 2018, 39(21): 126—132.
SONG Ai-hua. Creative Design of Pallet Structure Based on Pallet Application Status[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(21): 126—132.
- [2] 党文峰. 基于绿色物流的木塑托盘应用研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2015: 1.
DANG Wen-feng. The Research on the Application of Wood-plastic Pallet Based on Green Logistics[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2015: 1.
- [3] 斯泽泽, 曹积微, 盛清泉, 等. 可生物降解木塑复合材料的国内外研究进展[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(2): 101—103.
SI Ze-ze, CAO Ji-wei, SHENG Qing-quan, et al. Research Progress of Biodegradable Wood Plastic Composite at Home and Aboard[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(2): 101—103.
- [4] 陈文俊, 王丽萍. 入境木质包装除害处理的现状分析与展望[J]. 上海蔬菜, 2013(6): 76—77.
CHEN Wen-jun, WANG Li-ping. Current Situation Analysis and Prospect of Harm Removal of Entry Wood Packaging[J]. Shanghai Vegetable, 2013(6): 76—77.
- [5] KILIC Y, COLAK M, BAYSAL E, et al. An Investigation of Some Physical and Mechanical Properties of Laminated Veneer Lumber Manufactured from Black Alder (*Alnus glutinosa*) Glued with Polyvinyl Acetate and Polyurethane Adhesives[J]. Forest Products Journal, 2006(56): 123—125.
- [6] RITU G, NORAZIAH A, ARUN G, et al. Overview of Simulation in Wood Plastic Composites Manufacturing[J]. Indian Journal of Science & Technology, 2017, 10(7): 1—5.
- [7] 王丹丹. 桉木单板/聚氯乙烯(PVC)膜复合材料制备工艺及增强机理研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2016: 4.
WANG Dan-dan. Preparation Technology and Reinforcement Mechanism of Eucalyptus Veneer/Polyvinyl Chloride (PVC) Membrane Composite Board[D]. Beijing: Beijing Forest University, 2016: 4.
- [8] 黄丽婕, 张晓晓, 徐铭梓, 等. 偶联剂改性废纸/PETG生物复合材料[J]. 包装工程, 2017, 38(19): 68—73.
HUANG Li-jie, ZHANG Xiao-xiao, XU Ming-zi, et al. Waste Paper/PETG Bio-composite Modified by Coupling Agent[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(19): 68—73.
- [9] NAJAFI S K, BAHRA A, ABDOUSS M. Effect of Oxidized Polypropylene as a New Compatibilizer on the Water Absorption and Mechanical Properties of Wood Flour Polypropylene Composites [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011(119): 439—442.
- [10] 方露. 高密度聚乙烯薄膜/杨木单板复合胶合板界面改性方法及机理研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2014: 16—24.
FANG Lu. Interface Modification Method and Mechanism of High Density Polyethylene Film/Poplar Veneer Composite Plywood[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2014: 16—24.
- [11] 任从容, 韦文榜, 李雪菲, 等. 巨尾桉/聚乙烯膜制备复合材料工艺研究[J]. 木材加工机械, 2014(5): 29—32.
SHEN Cong-rong, WEI Wen-bang, LI Xue-fei, et al. Research on the Process of Composite Materials Made From Eucalyptus and PE Film[J]. Wood Processing Machinery, 2014(5): 29—32.
- [12] 沈丹丹, 胡万晓, 苟进胜. 木托盘有限元分析精度的影响因素[J]. 包装工程, 2018, 39(17): 12—18.
SHEN Dan-dan, HU Wan-xiao, GOU Jin-sheng. Factors Affecting the Precision of Finite Element Analysis of Wooden Pallet[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(17): 12—18.
- [13] GB/T 17657—2013, 人造板及饰面人造板理化性能试验方法[S].
GB/T 17657—2013, Test Method for Physical and Chemical Properties of Wood-based Panels and Decorated Wood-based Panels[S].
- [14] GB/T 2934—2007, 联运通用平托盘主要尺寸及公差[S].
GB/T 2934—2007, Main Dimensions and Tolerances of General Flat Pallets for Intermodal Transportation[S].
- [15] 康柳, 刘婧, 张佳娟, 等. 基于SolidWorks的卡扣快装箱有限元分析[J]. 包装工程, 2015, 36(3): 65—69.
KANG Liu, LIU Jing, ZHANG Jia-juan, et al. Finite Element Analysis of Quickly Assembled Box with Buckles via SolidWorks[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(3): 65—69.
- [16] 闫海成. 木质材料动态粘弹性及剪切模量检测技术研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012: 51.
YAN Hai-cheng. Study on Dynamic Viscoelasticity and Shear Modulus Testing Technology of Wood Material [D]. Beijing: Beijing Forest University, 2012: 51.