

特定结构木塑托盘静态弯曲性能的研究

张肖庆, 陆佳平, 王艳菊, 王雪芬

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 以一款特定结构的木塑托盘为研究对象, 基于托盘结构和连接方式两方面考虑, 以托盘实验过程中的实际承载条件为依据, 分析了其可能存在的失效模式, 通过实验研究确定了其评价指标。在 Ansys Workbench 环境下建立结构模型, 对 2 种失效模式进行了模拟, 分析了整体结构及螺栓连接在静态弯曲下的承载特性。通过进一步分析比较, 验证了材料结构的性能要求和设计的合理性。

关键词: 木塑托盘; 静态弯曲; 实验研究; 模拟分析

中图分类号: TB484.2; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)11-0055-04

Static Bending Performance of Specific Structure WPC Pallet

ZHANG Xiao-qing, LU Jia-ping, WANG Yan-ju, WANG Xue-fen

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Specific WPC pallet was taken as an object of study. The possible failure modes of the pallet were analyzed considering the pallet structure and combination pattern. The evaluation indexes were determined through experimental study based on the actual bearing capacity. The structure models were established in Ansys Workbench environment and two failure modes were simulated. The bearing characteristic of over-all structure and bolted connection under static bending was analyzed. The performance of material and rationality of design was verified through further analysis.

Key words: WPC pallet; static bending; experimental research; simulation analysis

托盘是连接包装产品运输、仓储、装卸、搬运等物流各环节的关键要素, 而木塑材料(WPC)托盘在物流包装中的应用尝试也渐渐起步^[1]。现有木塑托盘力学性能尤其是抗弯性能方面存在不足, 使得需对其进行特殊结构增强设计; 同时现有各构件的结构形式较为局限, 整体结构采用钉装而成, 其连接性能方面的研究也较为欠缺^[2-4]。由此, 基于托盘结构和连接方式两方面的统一考虑, 以一款特定结构木塑托盘为对象, 建立特定结构的有限元模型, 模拟静态弯曲条件下实际的受力情况, 研究分析特定结构木塑托盘的抗弯承载特性。

1 木塑托盘的结构模型

托盘为一活接式结构, 构件全部采用木塑材料制作, 通过特定的连接方式和构件结构形成托盘, 托盘

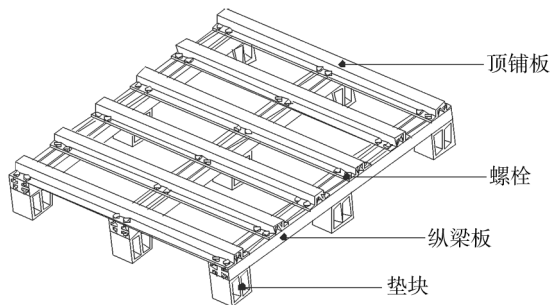


图1 特定结构木塑托盘

Fig. 1 The WPC pallet of specific structure

结构模型见图1。托盘整体尺寸为 1200 mm×1000 mm, 由 6 根顶铺板、3 根纵梁板和 9 个垫块组成, 其中顶铺板与纵梁板正交排列^[5], 各构件等间距排列, 均采用 T 型槽螺栓连接的方式, 实现各构件之间的灵活组装拆卸及更新替换。各托盘构件均采用挤出成形材料, 构件截面结构模型见图2。

收稿日期: 2013-04-02

作者简介: 张肖庆(1989-), 女, 河南人, 江南大学硕士生, 主攻包装工艺与机械。

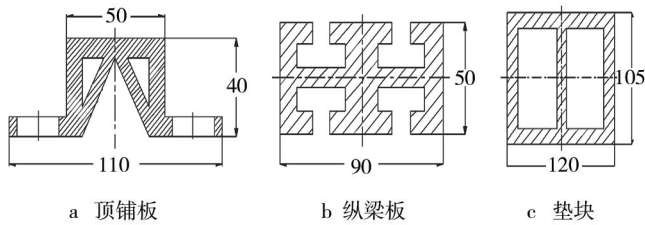


图2 构件横截面结构

Fig. 2 The cross section structure of components

2 材料与结构特性的实验研究

2.1 板材抗弯性能的研究

实心木塑板材,材料构成为PE(40%)和木粉(60%),密度为 1330 kg/m^3 。板材试样尺寸为 $600\text{ mm}\times50\text{ mm}\times28\text{ mm}$ 。

参考ASTM D 4761^[6]的方法,采用三点抗弯试验原理进行木塑板材弯曲性能试验,两支座间距为 400 mm ,试验速度为 10 mm/min 。记录试样的破坏载荷及其对应的挠度值,同时记录试样弹性区间上下极限载荷对应的挠度值。

由实验结果可知,木塑板材样品的抗弯强度为 15.2 MPa ,弹性模量为 2000 MPa 。

2.2 螺栓对板孔挤压应力的研究

采用实心木塑板材,材料同前,板材试样尺寸为 $90\text{ mm}\times50\text{ mm}\times10\text{ mm}$ 。板材上加工两排两列的螺栓通孔,螺栓孔端距为 23 mm ,模拟螺栓连接孔。

螺栓对板孔挤压应力的实验原理见图3。辅助

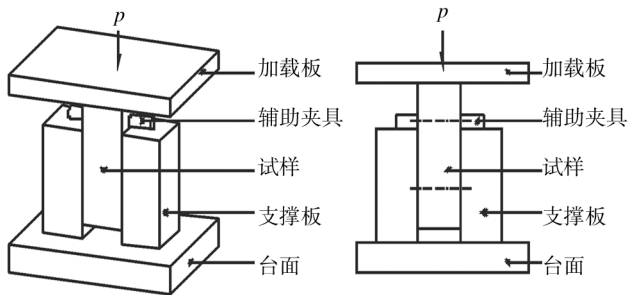


图3 螺栓对板孔挤压应力的实验原理

Fig. 3 The experimental principle of extrusion of bolt bar to bolt hole

夹具直径为 8 mm ,长为 100 mm ,材料为不锈钢,模拟实际的螺栓结构。在试验台面上放置两支撑板,将辅助夹具穿过结构上其中一个螺栓孔,把板材试样放置在两支撑板中间,辅助夹具水平放置在两支撑板上表

面,调整支撑板及辅助夹具的位置,匀速施加载荷,记录试样的破坏载荷。

由实验结果可知,螺栓对板孔的挤压破坏载荷为 3500 N ,螺栓孔的挤压强度为 27.4 MPa 。

2.3 失效预测

根据木塑托盘整体结构静态弯曲过程中的失效预测,最大等效应力可能发生在构件中间部位或者螺栓连接接触部位。以各构件的抗弯强度 15.2 MPa 和螺栓对板孔的挤压强度 27.4 MPa 为评价指标来判断结构是否满足承载性能要求。各构件均选用木塑材料,密度为 1330 kg/m^3 ,弹性模量 $E=2\times10^3\text{ MPa}$,泊松比 $\nu=0.3$ 。螺栓连接件材料选用Q235钢,材料密度为 7850 kg/m^3 ,弹性模量 $E=206\times10^3\text{ MPa}$,泊松比 $\nu=0.3$ 。

3 静态弯曲特性的模拟分析

3.1 静态弯曲下托盘构件整体模拟分析

3.1.1 模型建立与网格划分

由于木塑托盘整体结构体积较大,螺栓的加入使整体结构单元数量较多,使整体结构有限元模型较复杂。为了简化整体模型,暂忽略各个螺栓的影响,仅研究各构件在静态弯曲下的最大等效应力,并建立整体结构的有限元模型,见图4,结构参数定义见前述。

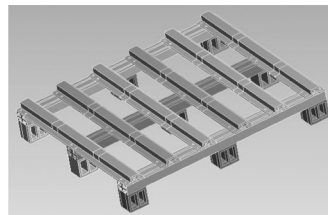


图4 木塑托盘结构有限元模型

Fig. 4 Finite element model of WPC pallet structure

采用四面体网格的划分方式对模型进行单元网格划分,网格尺寸为 8 mm 。为了获得较为精确的仿真结果,在关键部位进行局部加密,如接触定义部位和加载部位。有限元模型网格质量平均值为 0.74 ,网格质量良好^[7]。模型网格划分见图5。

3.1.2 载荷和约束

根据木塑托盘长方方向静态弯曲试验实际承载情况,托盘的额定载荷设为 800 kg ,与加载头受压面积进行换算,在托盘两顶铺板红色印记面上施加 0.08 MPa 的压力,在垫块蓝色印记面上标记部位施加固定

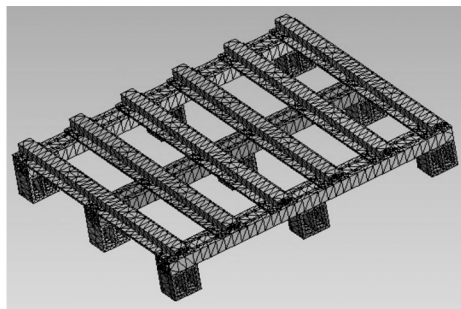


图5 模型的网格划分

Fig.5 Meshing of the model

约束,按照试验要求确定标记面的具体尺寸,标记面宽度为 50 mm,离端边距离为 75 mm^[8],托盘长方向载荷及约束施加位置见图 6。

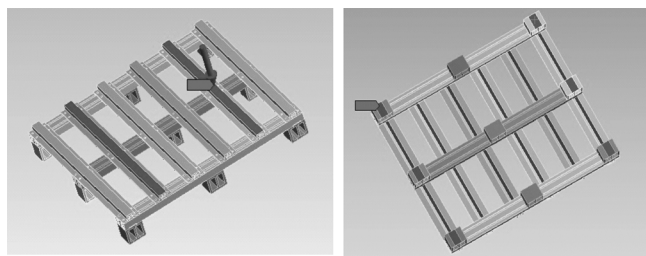


图6 木塑托盘长方向抗弯载荷和约束施加位置

Fig.6 The applied position of load and constraint in WPC pallet long direction

同理根据木塑托盘宽方向静态弯曲试验实际承载情况,确定载荷施加位置为各个铺板上距离端边 287.5 mm 处,加载面宽度为 50 mm,在托盘顶铺板红色印记面上施加 0.26 MPa 的压力,约束施加位置为垫块上距离端边距离 75 mm 处,宽度为 50 mm 的蓝色印记面上,托盘宽方向施加位置见图 7。

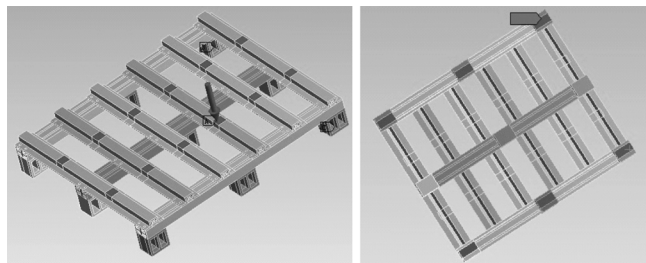


图7 木塑托盘宽方向抗弯载荷和约束施加位置

Fig.7 The applied position of load and constraint in WPC pallet width direction

3.1.3 分析结果

在额定载荷 800 kg 下,木塑托盘长方向静态弯曲最大等效应力为 11.4 MPa,最大总位移为 3.4 mm;宽

方向静态弯曲最大等效应力为 12.4 MPa,最大总位移为 5.7 mm,见图 8。2 个方向上的静态弯曲模拟最

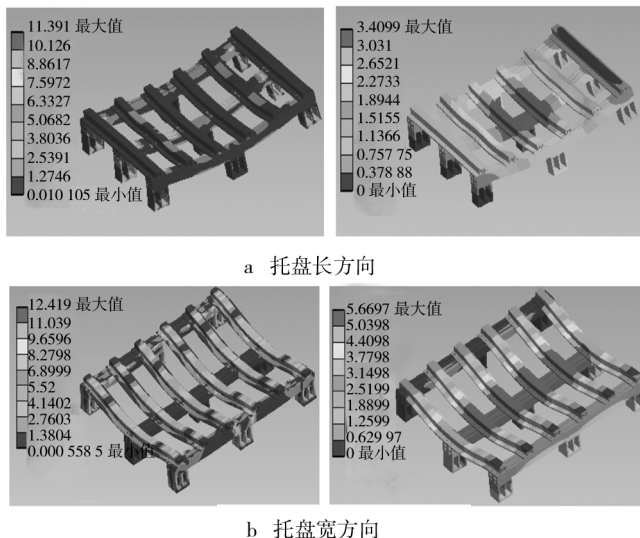


图8 木塑托盘抗弯模拟分析结果

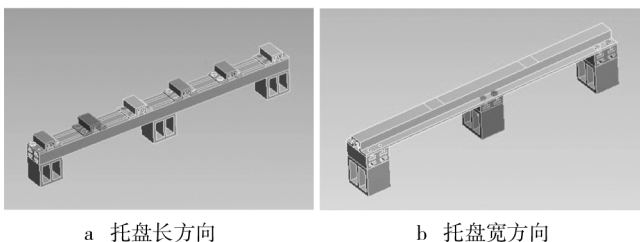
Fig.8 The bending simulation results of WPC pallet

大等效应力均小于木塑制品抗弯强度 15.2 MPa,均满足材料性能要求。

3.2 静态弯曲下螺栓对板孔的挤压模拟分析

3.2.1 有限元模型建立

最大等效应力可能发生在螺栓连接接触部位,故需建立木塑托盘局部构件的有限元模型,模拟分析木塑托盘整体结构在长宽两方向静态弯曲下螺栓对板孔的挤压应力。在托盘长度方向,根据托盘静态弯曲试验条件要求,确定载荷和约束施加位置,分别在左右两端对称第 2 个顶铺板结构上做印记面,在两端垫块结构做 50 mm×90 mm 的印记面,距离端边为 25 mm;在托盘宽度方向,同理实施。建立托盘两方向局部结构有限元模型,见图 9,结构参数定义见前述。



a 托盘长方向

b 托盘宽方向

图9 局部结构有限元模型

Fig.9 Finite element models of local structure

3.2.2 接触定义

螺栓连接局部结构示意图见图 10,纵梁板在载荷

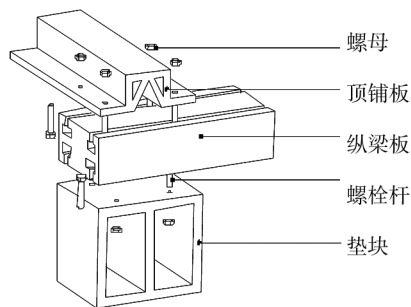


图 10 螺栓连接局部结构

Fig. 10 The local structure of bolted connection

作用下会产生弯曲变形,在螺栓连接处会产生一个水平分力,当分力大于两表面之间的摩擦力时,会导致螺栓在纵梁板凹槽内产生滑动。

螺栓与纵梁板的接触定义如下:螺栓与纵梁板结构之间的连接,定义纵梁板结构为接触面,螺栓为目标面,在螺栓未拧紧状况下,螺栓可以在纵梁板凹槽内滑动,有一定的摩擦系数。由此,两者之间的接触类型为可摩擦接触,摩擦系数定义为 0.4,采用增强拉格朗日接触计算方法,允许有 2 mm 的少量滑动位移以弥补螺栓杆在螺栓孔中的移动,最终接触到螺栓孔表面,每次进行刚度平衡迭代。

纵梁板与顶铺板之间接触类型为粗糙,采用增强拉格朗日计算方法,而垫块与底铺板、纵梁板与垫块、螺帽与顶铺板均采用绑定的接触类型,采用默认纯罚函数计算,每次进行刚度平衡迭代。

3.2.3 载荷和约束

开启非线性控制大位移变形,设置载荷步数及子部数。第 1 个载荷步是在螺栓光杆部位施加 70 N 螺栓预紧力。第 2 个载荷步是在锁定第 1 个载荷步的基础上,在顶铺板印记面上施加 0.08 MPa 的压力,两端纵梁板结构底面上施加固定约束。为了使结构计算收敛合理调整最小子部为 10,最大子部为 100,力收敛容差调整为 0.5,刚度系数调整为 4。

3.2.4 分析结果

托盘长方向静态弯曲下,顶铺板结构螺栓连接处螺栓对孔的最大挤压应力为 0.12 MPa。托盘宽方向静态弯曲下,顶铺板结构螺栓连接处螺栓对孔的最大挤压应力为 1.21 MPa,见图 11。2 个方向上静态弯曲模拟螺栓连接处螺栓对孔的最大等效应力均远小于实验结果,即抗弯强度为 27.4 MPa,满足材料性能要求。

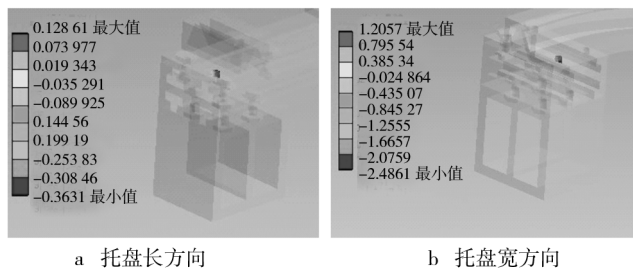


图 11 静态弯曲下螺栓孔挤压应力

Fig. 11 Bolt hole stress under static bending

4 结语

针对一种特定结构的木塑托盘,根据木塑托盘实验过程中的实际承载情况,提出了托盘抗弯强度及螺栓对孔的连接挤压强度两种失效模式,并通过实验的方法确定其失效评价指标。在 Ansys Workbench 环境下建立了木塑托盘整体和局部结构的有限元模型,模拟分析了在静态弯曲条件下实际受力情况和承载特性。通过比较分析实验与模拟的研究结果,表明材料和结构满足性能要求,同时验证了设计结构的合理有效性,具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 雒洁,郭彦峰,王家民. 托盘包装的现状与发展趋势[J]. 包装工程,2005,26(4):99-100.
LUO Jie, GUO Yan-feng, WANG Jia-min. The Current State and Development of Pallet Package[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(4): 99-100.
- [2] 李影,程瑞香,王清文. 木塑复合材料的连接方式[J]. 林产工业,2010,37(1):43-45.
LI Ying, CHENG Rui-xiang, WANG Qing-wen. Fastening Method of Wood-plastic Composites[J]. China Forest Products Industry, 2010, 37(1): 43-45.
- [3] 郭勇,李大纲,陈玉霞. 接合方式对木塑构件连接性能的影响[J]. 包装工程,2008,29(3):18-20.
GUO Yong, LI Da-gang, CHEN Yu-xia. Influence of Joining Modes on the Strength of Wood Plastic Composites[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 18-20.
- [4] HAFTKHANI A R, EBRAHIMI G, TAJVIDI M, et al. Investigation on Withdrawal Resistance of Various Screws in Face of Wood-plastic Composite Panel[J]. Materials and Design, 32(2011)4100.
- [5] 周俐俐,沈鹏,曹国. 对螺栓群不等间距排列方式及承载力的初步研究[J]. 钢结构,2007,22(6):48-50.

参考文献:

- [1] 刘真,张建青,王晓红. 数字印前原理与技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,2010.
LIU Zhen, ZHANG Jian-qing, WANG Xiao-hong. Digital Prepress Principles and Technologies [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2010.
- [2] SUZUKI S, SHINMIZU M, SEMBA S. High Accuracy Color Reproduction (Color Management Systems) [J]. FUJITSU Science Technology Journal, 1999, 35(2): 240-247.
- [3] 息丽丽,王义峰,刘瑞华,等. 基于B样条色域描述的颜色匹配[J]. 计算机工程, 2008, 33(1): 210-211.
XI Li-li, WANG Yi-feng, LIU Rui-hua, et al. Color Mapping Based on Gamut Description of B-spline Curve Fitting [J]. Computer Engineering, 2008, 33(1): 210-211.
- [4] MORONIC Jan, LUO M Ronnier. Calculating Medium and Image Gamut Boundaries for Gamut Mapping [J]. Color Research and Application, 2000, 25(6): 394-401.
- [5] 张东林. 分段最小二乘曲线拟合 [J]. 沈阳大学学报, 1994(2): 80-83.
ZHANG Dong-lin. Piecewise Fitting of a Least Square Curve

[J]. Journal of Shenyang University, 1994(2): 80-83.

- [6] 颜宁生. 带插值条件的最小二乘法 [J]. 北京服装学院学报, 2007, 27(2): 42-48.
YAN Ning-sheng. Least Squares with Interpolation Condition [J]. Journal of Beijing Institute of Clothing Technology, 2007, 27(2): 42-48.
- [7] 于惠,刘真. 基于LSM分段拟合技术的喷墨输出反馈控制研究 [J]. 包装工程, 2011, 32(17): 98-101.
YU Hui, LIU Zhen. Study of the Inkjet Output's Feedback Control Based on the LSM Piece Wise Curve-fitting Technology [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(17): 98-101.
- [8] 刘晓莉,张春梅. 基于最小二乘原理的分段曲线拟合法 [J]. 伊犁教育学院学报, 2004, 17(3): 132-134.
LIU Xiao-li, ZHANG Chun-mei. The Piecewise Curve-fitting Method Based on Least-square Principle [J]. Journal of YILI Education College, 2004, 17(3): 132-134.
- [9] 梁静,邓晶绿,彭彦平,等. 彩色复制中色域映射方法的研究 [J]. 包装工程, 2008, 29(9): 65-67.
LIANG Jing, DENG Jing-lyu, PENG Yan-ping, et al. Research of Color Gamut Mapping in Color Reproduction [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(9): 65-67.

(上接第58页)

- ZHOU Li-li, SHEN Juan, CAO Guo. Pilot Study on the Different Pitch Arrangement of Bolt Connection and the Bearing Capacity [J]. Steel Construction, 2007, 22(6): 48-50.
- [6] ASTM D4761-05, Standard Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material [S].
- [7] 丁毅,刘雯. 基于ANSYS对木质托盘整体结构的静力分析 [J]. 包装与食品机械, 2009, 27(6): 12-13.
DING Yi, LIU Wen. ANSYS of Static Analysis for Wooden

Pallet Based on the Structure [J]. Packaging and Food Machinery, 2009, 27(6): 12-13.

- [8] 王艳菊,陆佳平. 基于ANSYS的托盘弯曲承载特性分析及试验验证 [J]. 包装工程, 2012, 33(17): 23-26.
WANG Yan-ju, LU Jia-ping. ANSYS-Based Analysis of Pallet Bending Performance and Its Experimental Verification [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17): 23-26.

(上接第62页)

- [5] 李扬,李光. 基于SolidWorks的托盘结构有限元分析及优化设计 [J]. 包装工程, 2011, 32(19): 1-4.
LI Yang, LI Guang. Finite Element Analysis and Optimal Design of Structure of the Tray Based on SolidWorks [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(19): 1-4.
- [6] 艾泽明. 弹药塑料包装筒密封结构设计 [J]. 包装工程, 1989, 10(4): 21-25.
AI Ze-ming. Seal Structure Design of Ammunition Packaging Tubes [J]. Packaging Engineering, 1989, 10(4): 21-25.
- [7] 何自芬,张印辉. 基于有限元法的包装箱抗压性能研究 [J]. 包装工程, 2009, 30(3): 39-41.
HE Zi-fen, ZHANG Yin-hui. Compression Performance Investigation Based on Finite Element Analysis [J]. Packaging

Engineering, 2009, 30(3): 39-41.

- [8] 钟毓宁,龙盛蓉,张业鹏. 基于有限元的缓冲包装结构参数对缓冲性能影响的仿真研究 [J]. 包装工程, 2004, 25(4): 149-150.
ZHONG Yu-ning, LONG Sheng-rong, ZHANG Ye-peng. Simulation Investigation of the Influence of Buffer Performance from Buffer Package Structure Parameter Based on Finite Element [J]. Packaging Engineering, 2004, 25(4): 149-150.
- [9] 孙明亮,雷坤. 炮弹塑料包装应用探讨 [J]. 包装工程, 2003, 24(6): 107-109.
SUN Ming-liang, LEI Kun. Application of the Bullet Plastic Package [J]. Packaging Engineering, 2003, 24(6): 107-109.