

塑料托盘的有限元分析及实验验证

韩变玲¹, 卢立新^{1,2}, 余渡元³, 王睿娜¹

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 无锡 214122;
3. 中包精力托盘系统共用有限公司, 北京 100088)

摘要: **目的** 基于 Workbench 设计和分析塑料托盘结构的可靠性和可行性。**方法** 通过建立塑料托盘的有限元模型, 对其施加相应载荷, 模拟塑料托盘试验时的受力情况, 分别计算托盘在均载堆码、叉举、底铺板、弯曲下的挠度值, 并与实验结果进行比较。**结果** 塑料托盘 4 个挠度值的实验结果和模拟结果相对误差在 10% 以内。**结论** 采用 Workbench 对托盘进行受力分析具有可靠性和可行性。

关键词: 塑料托盘; 模拟分析; 实验验证

中图分类号: TB487; TB485.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2014)09-0052-04

Finite Element Analysis and Experimental Vrification of Plastic Pallets

HAN Bian-ling¹, LU Li-xin^{1,2}, YU Du-yuan², WANG Rui-na¹

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China;
2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Wuxi 214122, China;
3. Chinapack Jingli Pallet Pooling System Corporation, Beijing 100088, China)

ABSTRACT: **Objective** To use Workbench to design plastic pallet structure and analyze its reliability and feasibility. **Methods** Finite element model was established for the plastic pallets and stress load was applied to simulate the load condition of plastic pallet during experiment, and the deflection values of the pallets under various conditions of stacking, fork lifting, bottom deck bending and bending tests were calculated, and compared with experimental results. **Results** The results showed that the simulation results were similar with the experimental results, and the relative error between experimental and simulated values was within 10%. **Conclusion** It was confirmed that it is reliable and feasible to analyze the performance of plastic pallets using Workbench.

KEY WORDS: plastic pallet; finite element analysis; verification

托盘是单元化包装的基本组件和集装化运输的基本器具,是现代化物流的重要发明之一^[1]。在托盘行业,木托盘最初以其低廉的价格和简单的制造工艺得到大力发展^[2]。随着木材资源的日益减少、国际贸易中对木托盘的严格限制和国家节材代木政策的影响,木托盘的成本不断上升,一次性使用的木托盘在逐渐减少,而多次使用的塑料托盘在逐渐增多^[3]。塑料托盘除了具有可多次重复使用的优势外,还具有质

量轻、清洁耐用、单次使用成本低、节约资源、绿色环保等优点^[4]。近年来,随着塑料托盘设计方法和制造技术的不断发展,以及大家对生态环境的高度关注,塑料托盘得到大力发展,成为增长速度最快的托盘种类,市场所占比例一直在增加。现在塑料托盘的结构一般基于经验设计,导致托盘受力不合理,存在开发成本高、周期长等问题。

文中以中包精力托盘共用系统有限公司生产的

收稿日期: 2014-01-10

作者简介: 韩变玲(1986—),女,江南大学硕士生,主攻运输包装。

通讯作者: 卢立新(1966—),男,江苏江阴人,博士,江南大学教授、博士生导师,主要研究方向为食品包装技术与安全、运输包装等。

塑料(HDPE)托盘为研究对象,利用 SolidWorks 进行建模并导入 Workbench 中,对塑料托盘进行静态的均载堆码强度、叉举强度、底铺板强度和均载弯曲强度的模拟分析,并结合实验进行验证。

1 有限元模拟分析

1.1 塑料托盘建模

该托盘为一体结构,由 HDPE 注塑成形,外尺寸为 1100 mm×1100 mm×150 mm。该托盘包括:9 个垫块、8 根顶边梁、8 个边铺板、8 根顶中梁、4 个顶铺板、8 根底边梁和 12 根底中梁,它们通过小的薄壁结构组成和连接见图 1。可以看出,该托盘结构复杂、模型过大,需要进行简化。

为了避免托盘在成形时,由于温度降低导致塑料收缩生成内应力,所以塑料托盘在筋与筋连接的节点都有过渡圆角。过渡圆角要小于等于连接筋的厚度,由此过渡圆角的大小在 1~4 mm 间,相对于 1100 mm 的托盘,过渡圆角对托盘整体的受力分布影响较小。由于既多又小的过渡圆角在分析时会产生大量的网格,将加重计算的复杂度,所以该模型对此做了简化处理。托盘顶层和底面的 20 个橡胶垫主要增加托盘的摩擦力,对受力影响比较小,做简化处理。托盘的相关材料参数见表 1。

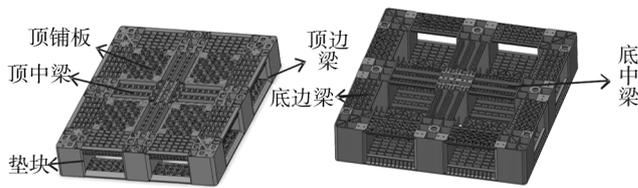


图 1 托盘结构

Fig. 1 Pallet construction

表 1 托盘材料性能参数

Tab. 1 Material property of the pallet

材料	弹性模量 /MPa	弯曲强度 /MPa	泊松比	密度 /(g·cm ⁻³)
HDPE	1200	30	0.4101	0.951

1.2 有限元模拟的载荷和约束条件

对有限元准确地施加载荷和定义约束,是成功进行有限元分析的基本条件^[5]。施加的载荷方式及约束条件根据实际使用情况,并结合通用托盘试验要求

和 ISO 8611 的实验要求来确定^[6]。均载堆码将托盘的 9 个垫块底面进行无摩擦约束,在托盘的上表面施加 35 kN 的力;叉举强度根据 ISO 8611 的加载方式,在叉齿的下表面添加无摩擦约束,在最上面的 2 个加载头分别添加 8 kN 的力;底铺板强度根据 ISO 8611 的加载方式,在托盘的上表面施加无摩擦约束,在 2 个加载头上分别施加 4 kN 的力;弯曲强度根据 ISO 8611 的加载方式,在 2 个支座的底面施加无摩擦约束,在托盘上加载头上各施加 3 kN 的力,见图 2。

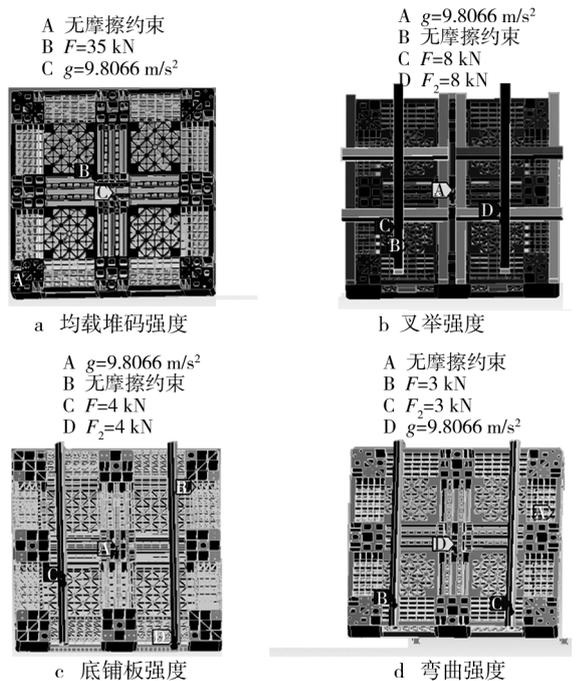


图 2 托盘的载荷和约束加载位置

Fig. 2 Pallet loads and constraints loading position

1.3 有限元分析与计算

根据设置要求 Workbench 会自动进行计算,结果见图 3。由图 3a 得出托盘在 35 kN 均布载荷下的均载堆码变形和应力分布,托盘的堆码变形主要发生在离垫块较远的地方,最大挠度在托盘的 4 个顶铺板中间,为 2.48 mm;托盘堆码的最大应力在顶铺板与角垫块连接的 4 个角上,为 28.91 MPa。由图 3 b 得到托盘在 16 kN 载荷下的叉举变形和应力分布,托盘的叉举变形主要发生在离叉齿较远的地方,最大挠度在托盘叉齿方向的边部,为 6.97 mm;托盘的应力主要发生在叉齿附近,最大应力在叉齿与托盘开始接触的地方。由图 3c 得出托盘在载荷为 8 kN 条件下底铺板的变形和应力分布,托盘底铺板的变形主要发生在离垫块远的地方,最大挠度在底边梁和底中梁的中

部,为5.57 mm;托盘底铺板的应力,主要发生在底边梁和底中梁与垫块连接的地方,最大应力在加载头与底铺板开始接触的地方,为26.56 MPa。由图3d得出托盘在载荷为8 kN条件下弯曲变形和应力分布,离支座越远托盘的弯曲变形越大,最大挠度在2个支座中间,为10.73 mm,而托盘的弯曲应力主要发生在与支座接触的垫块和加载头的周围,最大应力为29.60 MPa。

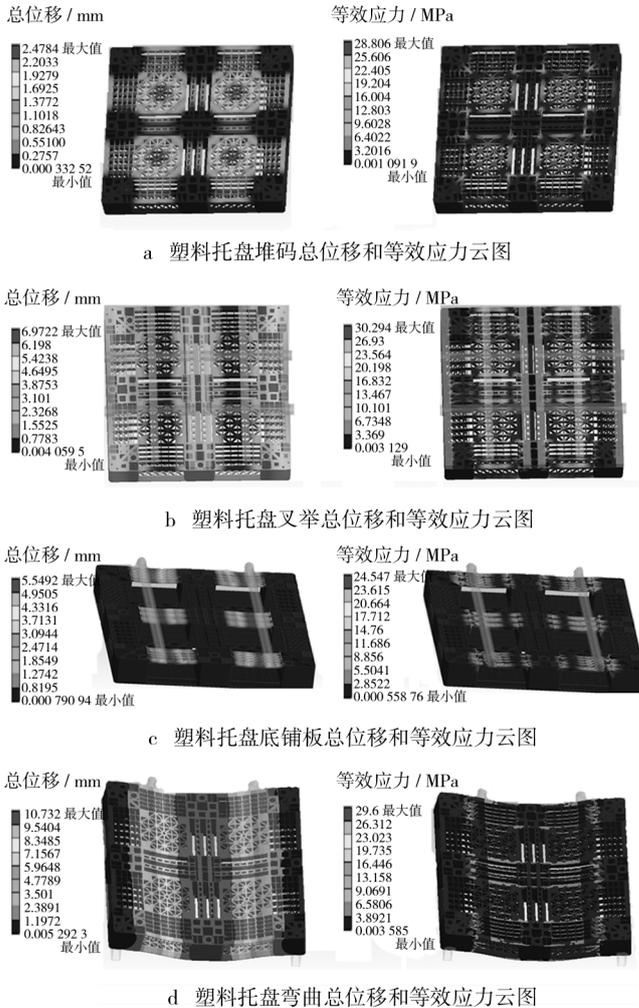


图3 塑料托盘总位移和等效应力云图

Fig. 3 Total displacement and stress contour of plastic pallet

2 实验验证

2.1 实验样品与主要仪器

实验样品为与 Workbench 模型一致的8个托盘。样品参照 ISO 8611—2.2 中 4.4 对塑料托盘进行处理,样品均在温度为 23 ℃,相对湿度为 30% 的环境下

处理 24 h,实验在室温下进行^[7]。

实验的主要设备为法国 SEREME 生产的动态压力试验机,最大载荷为 100 kN。

2.2 实验步骤

1) 均载堆码实验。将托盘沿测试方向居中放置于动态压力机的下压板上,顶铺板上加载充气袋。动态压力试验机以 12.7 mm/min 的速度逐渐增加载荷,直至托盘被压溃或变形量达到 6% L_1 (16.2 mm) 时,记录测试极限载荷 U (L_1 为叉孔宽度值, $L_1 = 270$ mm)。重新更换托盘,将压力增加到 0.015 U ,将百分表读数清零。将压力增加到 3500 kgf,保持压力 48 h 后,记录此时的加载挠度值。

2) 叉举强度实验、底铺板强度实验和弯曲强度实验^[6]。按照 ISO 8611—1.2 中 8.2 Fork lifting test, 8.5 Bottom deck bending tests 和 8.1 Bending test 的实验方法,动态压力试验机以 12.7 mm/min 的速度逐渐增加载荷,直至托盘被压溃或变形量达到 6% L_1 时,记录测试极限载荷 U 。重新更换托盘,将压力增加到 0.015 U ,将百分表读数清零。将压力增加到预定载荷,保持压力到规定时间(叉举 30 min、底铺板 24 h 和弯曲 48 h)后,记录此时的加载挠度值。实验实物见图 4。

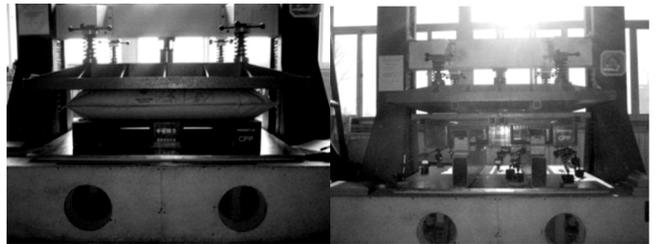


图4 托盘堆码和叉举实验

Fig. 4 Stacking and fork lifting test of the pallet

2.3 结果及验证

为了使塑料托盘平整,不会因托盘自己的翘曲而影响实验结果,ISO 8611 中给托盘加了 0.015 倍极限值的预应力。由于 Workbench 采用三维模型,不存在托盘自己翘曲的现象,所以不需要加预应力。托盘受力下挠度的标准值见表 2。从表 2 可以看出,35 kN 的均布堆码、16 kN 的叉举性能、8 kN 的底铺板性能和 6 kN 的弯曲性能都在安全范围内。从表 2 可以看出,4 个模拟值与实验值的误差都在 10% 以内,证实 Workbench 在分析塑料托盘的性能时具有可靠性。

表2 实验条件和模拟条件下托盘性能对比

Tab.2 The comparison of displacement test and simulation results of the pallets

性能	模拟值 /mm	实验值 /mm	相对误 差/%	标准值 /mm	极限载 荷/kN
均载堆码	2.48	2.71	9.27	5.4	95
叉车	6.97	7.28	4.45	20	72
底铺板	5.57	5.79	3.95	15	46
弯曲	10.73	11.38	6.06	19	25

3 结语

文中对塑料托盘进行了有限元仿真分析,并对此进行了实验验证,结果表明采用 Workbench 对托盘受力分析可以用于塑料托盘的性能分析。在塑料托盘的前期开发阶段和后期优化阶段,采用 Workbench 进行理论分析,不仅可以使托盘的设计更加合理,而且可以有效降低托盘的开发成本和开发周期。

参考文献:

- [1] 孟国强,孙珂.我国托盘应用现状与发展建议[J].中国物流与采购,2004(23):12—13.
MENG Guo-qiang, SUN Ke. Pallet Application and Development of Recommendations[J]. China Logistics and Purchasing, 2004(23):12—13.
- [2] 曾艳菊.托盘“革命”——美国塑料托盘的技术开发与市场应用[J].国外塑料,2009,27(3):72—75.
ZENG Yan-ju. Pallet "Revolution"—USA Plastic Tray Technology Development and Market Application[J]. Foreign Plastics, 2009, 27(3):72—75.
- [3] 彭国勋.面向可持续发展目标的塑料托盘[J].塑料包装,2011,21(2):26—28.
PENG Guo-xun. Oriented Plastic Tray Sustainable Development Goals[J]. Plastic Packaging, 2011, 21(2):26—28.
- [4] 文风.塑料托盘的发展[J].塑料科技,2009(9):66.
WEN Feng. Development of Plastic Pallets [J]. Plastics Technology, 2009(9):66.
- [5] 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):1—4.
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.
- [6] ISO/DIS 8611—1. 2, Pallets for Materials Handling—flat Pallets—test Methods[S].
- [7] ISO/DIS 8611—2. 2, Pallets for Materials Handling—flat Pallets—performance Requirements and Selection of Tests [S].
- [8] ISO/DIS 8611—3. 2, Pallets for Materials Handling—flat Pallets—maximum Working Loads[S].
- [9] GB/T 4996—1996,联运通用平托盘实验方法[S].
GB/T 4996—1996, Test Method of General Plate[S].
- [10] 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—17.
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.
- [11] 张肖庆,陆佳平,王艳菊,等.特定结构木塑托盘静态弯曲性能的研究[J].包装工程,2013,34(17):55—58.
ZHANG Xiao-qing, LU Jia-ping, WANG Yan-ju, et al. Static Bending Performance of Specific Structure WPC Pallet[J]. Packaging Engineering, 2013, 34, 34(17):55—58.
- [12] 李扬,李光.基于 Solidworks 的托盘结构有限元分析及设计优化[J].包装工程,2011,32(19):23—26.
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.
- [13] 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, 2011, 32(7):4100—4106.
- [14] 许京荆. ANSYS 13.0 Workbench 数值模拟技术[M].北京:中国水利水电,2012.
XU Jing-jing. ANSYS 13.0 Workbench Simulation Technology [M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydro-power, 2012.
- [15] 彭国勋.物流运输包装设计[M].北京:印刷工业出版社,2006.
PENG Guo-xun. Logistics Packaging Design [M]. Beijing: Graphic Communications Press, 2006.