

包装技术与工程

基于 SolidWorks 的托盘结构有限元分析及优化设计

李 杨, 李 光

(天津科技大学, 天津 300222)

摘要: 托盘结构设计一直采用经验设计方法,其结构的合理性有待研究。通过 SolidWorks 对托盘进行了建模和参数化设计,并运用其集成的 Simulation 仿真分析功能对所建立的模型进行了有限元分析。通过与托盘试验原型测试对比,验证了分析的正确性和有效性。最后通过 SolidWorks 的优化功能对托盘模型进行了优化设计,得到了以安全系数为约束条件的托盘上连板的最优厚度。该方法可行、有效,为托盘结构分析和优化设计提供了一条新的思路。

关键词: 托盘;有限元分析;试验验证;优化设计

中图分类号: TB485.3; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)19-0001-04

Structural Finite Element Analysis and Optimum Design of Pallet Via SolidWorks

LI Yang, LI Guang

(Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222)

Abstract: Structural design of pallet always uses empirical method, and its rationality needs further investigation. The modeling and parameterized design of pallet was carried out by using Solidworks, and then finite element analysis of the model was carried on by using its integration function. The analytical results were validated with the prototype test of pallet. Ultimately, the optimum design of pallet was processed via the optimization toolbox of SolidWorks, and the best thickness of top deckboards for pallet was obtained by the optimal design which meets safe coefficients as constraint conditions. It was proved that the method is feasible and available. The purpose was to provide a method for structural analysis and optimum design of pallet.

Key words: pallet; finite element analysis; verification; optimum design

托盘是具有一定规格、尺寸的水平垫板,就像一个自由移动的地面,作为包装件的伴随支撑物,是一种适合机械化装卸、运输和存储的集装单元工具,在商品流通中具有广泛的工程应用^[1]。多年来,我国木质托盘产业存在设计理论方法不完善、质量检验不规范、基础技术参数较缺乏等诸多问题,常导致木质托盘设计不当。托盘结构一直采用经验设计方法,其结构的合理性有待研究,往往要经过“方案设计、样品试制、样品试验、工况试验、方案多次修订、样品多次试制/试用”等多次设计循环才能完成。

托盘在储存和运输过程中,存在多种载荷形式,

其中静态载荷是使托盘产生破坏的主要原因,如果设计不当,托盘的安全性得不到保障^[2]。研究托盘 CAD/CAE 仿真设计及优化,可以缩短设计周期,增加产品的可靠性,降低材料的消耗或成本;并模拟各种试验方案,在产品制造或工程施工前发现潜在的问题,减少试验时间和经费。国外 J. H. Lim 等人利用有限元法对托盘的静态变形进行了比较研究^[3-4]。国内许多学者专家也在积极探索 CAE 在托盘设计上的应用,桑军等人基于 CosmosWorks 进行了整装整卸托盘纵梁优化设计^[5],何为宏等人基于 PRO/Mechanica 分析了木质托盘结构联结系数^[6],尹恩强等

收稿日期: 2011-07-25

基金项目: 天津科技大学自然科学基金资助项目(20100202)

作者简介: 李杨(1987—),男,安徽淮北人,天津科技大学硕士生,主攻运输包装与包装机械。

通讯作者: 李光(1975—),男,山东潍坊人,天津科技大学副教授,主要研究方向为包装机械优化设计与仿真。

人基于 ANSYS 有限元分析软件分析并确定了托盘的结构要素^[7],马卫静等人基于 ANSYS 对托盘板材在静态承重与叉车叉起时的力学性能和承载性能进行了分析^[8]。虽然都把 CAE 理论引用到托盘设计中,取得了一定效果,但很少应用其对托盘进行优化设计,以改变现有设计中的不足。

Solidworks 是应用广泛的三维 CAD 建模和分析软件,可在完成零件、部件和总成的造型设计后,自动生成有限元网格并进行计算,如果结果不符合设计要求,则重新进行造型和计算,直到满意为止,从而极大地提高设计水平和效率^[9]。软件设计和仿真分析与真实情况还是有一定的差异,所以要通过试验原型测试对软件分析进行校正。笔者以 D4 型托盘设计中承重梁厚度设计为例,通过使用 SolidWorks 的 CAD/CAE 功能,以达到优化设计的目的。

1 模型建立及有限元分析

1.1 托盘基本工作参数和模型建立

托盘结构见图 1,具体参数见表 1。

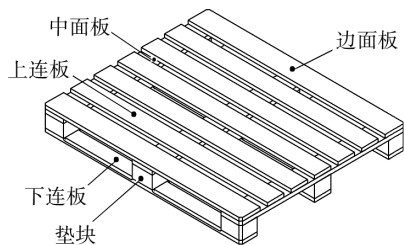


图 1 托盘结构

Fig. 1 Pallet construction

表 1 托盘结构尺寸

Tab. 1 Pallet structural data

构件名称	长/mm	宽/mm	厚/mm
边面板	1 200	120	20
中面板	1 200	100	20
上连板	1 000	120	20
垫块	120	100	78
下连板	1 200	100	20

托盘材料为新西兰辐射松^[10],弹性模量为 5 GPa,泊松比为 0.29,抗弯强度为 300 MPa,屈服强度为 37 MPa,质量密度为 560 kg/m³。利用 SolidWorks 基于特征的参数化造型功能,可建立该托盘的

精确模型,见图 2。

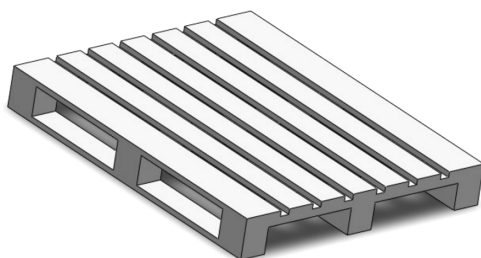


图 2 托盘模型

Fig. 2 Model of pallet

1.2 有限元仿真分析

启动 SolidWorks 的 Simulation 插件,建立新的算例,并对托盘进行有限元网格划分。通常对于大体积和复杂形状模型,采取实体网格划分作为单元类型;同时为了获得良好仿真分析精度,应该选择高品质的网格;并且网格化的自动过渡功能处于打开状态,以便在网格划分时,连接板与垫块结合处等容易产生较大应力的部位形成较大的网格密度,而其余部位产生相对较小网格密度。这样不仅可有效提高仿真分析精度,而且也可以控制计算规模,节约仿真分析时间。网格化后托盘有限元模型见图 3,共有单元数 9 397、节点数 19 364,总求解时间 11 s。

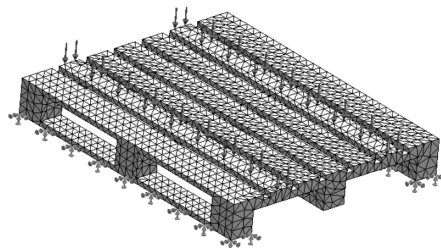


图 3 托盘有限元网格模型

Fig. 3 Pallet meshing

根据实际流通过程中的工作压力与实验平均压力,确定模拟实际工作载荷压力为 15 kN。托盘在使用过程中主要是各构件强度超过木材实际屈服强度,造成产品破坏,所以在此以辐射松屈服强度作为有限元分析边界条件。利用 Simulation 工具对托盘模型进行应力和变形分析,其应力分布和位移分布情况见图 4 和 5,并将分析的结果以 HTML 格式保存。从图 4 的应力分析图上可以看出,托盘的上连板与中面板接触部位为应力破坏点,最大应力为 39.89 MPa,超过辐射松的屈服极限 37 MPa。从图 5 的位移分析

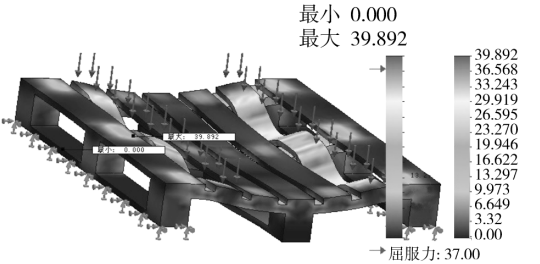


图 4 托盘应力云图(N/mm²)
Fig. 4 Stress contour of pallet

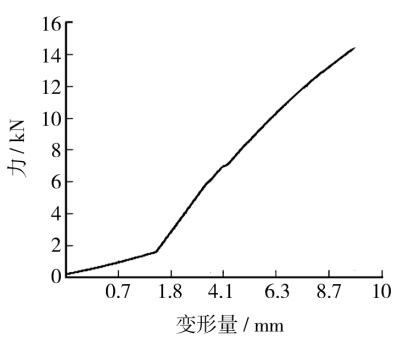


图 7 试验测试的力-变形曲线
Fig. 7 Force-deformation curve by test

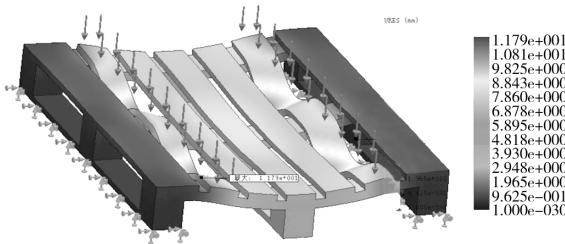


图 5 托盘位移云图(mm)
Fig. 5 Displacement contour of pallet

来看,托盘的最大位移为 11.79 mm,位移变形很大,因此托盘模型还需要继续优化。

2 有限元计算结果与试验的对比

通过托盘模型的有限元分析后,为了验证该仿真结果的准确性,还必须进行试验验证,将有限元计算结果与试验数据进行对比分析。通过根据 ISO _DIS8611 托盘试验标准里面的弯曲测试标准对托盘模型进行测试,见图 6。测试得到的力-变形量变化曲

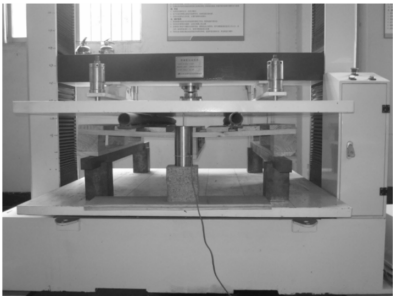


图 6 试验模型
Fig. 6 Test model

线见图 7。通过与 SolidWorks 仿真分析结果对比发现:实际托盘断裂的地方与仿真分析应力集中地方基本重合;托盘位移变化最大偏移量为 9 mm,与仿真分

析得出的结果基本一致。
可见,托盘真实试验与有限元分析结果接近,验证了有限元分析的有效性,因此,可将仿真分析部分替代实际产品的试验测试,这样不仅可以提高效率,也能节约成本。

3 托盘结构优化设计

托盘结构优化设计流程见图 8。一般优化设计

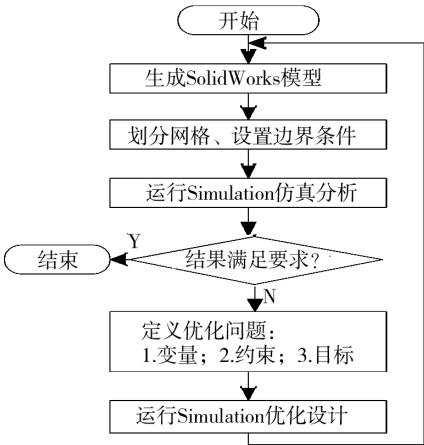


图 8 优化设计流程
Fig. 8 Flow chart of optimum design

方法,都是先确定目标函数表达式,再确定约束条件表达式,最终选择设计变量表达式,对于非专业设计人员操作困难,而采用 SolidWorks 的 CAE 插件自身集成的仿真优化功能,则只需要按照软件提示操作即可完成优化过程。在对模型进行仿真分析后,在“分析算例”上右键选择“生成新设计算例”即可进入优化设计界面,软件主要采用多维约束最优化的方法进行优化分析。托盘优化的目标函数为托盘的质量最小

化;设计变量为上连板厚度,它对托盘的质量和应力水平有重大影响;约束条件为安全系数;同时不改变托盘的其他部位,以防止托盘整体结构出现较大变化。

在参数设置时,需要设置设计变量上连板厚度 x_1 的取值范围,对于变量的设置需要多次尝试才能找到最理想的范围,尽量不要采用系统默认取值,否则可能因为试验模型几何条件错误,从而导致最终优化过程失败,取 $12.5 \leq x_1 \leq 37.5$ 为设计变量的变化区间。此次优化取安全系数为 $1.4^{[10]}$,经过 13 次迭代以后,最终成功找到托盘模型优化最优解,具体优化过程见图 9。优化前后相关数据对比见表 2,为便



图 9 优化设计界面

Fig. 9 Interface of optimum design

表 2 优化前后相关数据对比

Tab. 2 Contrast before and after optimization

	变量(上连板 厚度)/mm	约束 (安全系数)	目标 (质量)/kg
初始值	20	0.951 2	11.73
优化解	24.92	1.412 6	12.23
圆整值	25	1.4	12.24

于后期实际生产制造,对优化结果进行了取整。

由表 2 可知,与优化前相比,托盘上连板厚度增大。上连板是托盘横向承载的主要承重梁,它的厚度增大,可以增大托盘整体承载性能。利用优化后的设计参数,重新生成托盘模型,经有限元分析,托盘的上连板与中面板接触部位最大应力为 26.31 MPa,小于辐射松的屈服极限 37 MPa,托盘的最大位移为 9 mm,位移变形减小,说明托盘的强度和刚度有一定提高,可减少其在使用过程中的破损率。

4 结论

1) 笔者采用 SolidWorks 的 Simulation 插件对

托盘模型进行了有限元仿真分析,同时通过对实际托盘样品进行弯曲测试与仿真结果进行对比,验证了仿真结果的正确性。其仿真结果表明托盘最大应力超过所用木材材料的屈服应力,说明托盘初始设计存在强度和刚度不足的缺陷,在使用过程中存在破损风险,由此得出模型仍需继续优化以求得最佳值。

2) 在有限元仿真分析的基础上,对托盘进行优化设计,托盘优化后的性能更趋于合理,大大降低托盘设计及试验成本,并为产品方案修订提供方向性和数据性指导。

3) 在利用三维软件进行产品设计的过程中,要很好地利用软件的分析功能,这样可以把一些设计缺陷在生产前暴露出来,缩小产品的设计周期,在托盘设计中具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] 邓巧云,朱燕玲,沈辰栋,等. 新型纸积层板托盘的工艺技术和应用研究[J]. 包装工程,2010,31(11):39-41.
- [2] 何为宏,卢立新. 木质托盘铺板的受力分析与设计[J]. 包装工程,2009,29(2):70-72.
- [3] LIM J H, RATNAM M M, KHALIL H P S Abdul. An Experimental and Finite Element Analysis of the Static Deformation of Natural Fiber-reinforced Composite Beam[J]. Journal of Polymer Testing, 2003, 22(2): 169-177.
- [4] RATNAM M M, LIM J H, KHALIL H P S Abdul. Study of Three-dimensional Deformation of a Pallet Using Phase-shift Shadow Moiré and Finite-element Analysis[J]. Experimental Mechanics, 2005, 45(1): 9-17.
- [5] 桑军,李利顺,孟祥瑞,等. 基于 CosmosWorks 的整装整卸托盘纵梁的优化设计[J]. 起重运输机械,2008(6):39-42.
- [6] 何为宏,卢立新. 基于 PRO/Mechanica 的木质托盘结构联结系数分析[J]. 东北林业大学学报,2009,32(2):84-87.
- [7] 尹恩强,李士才,张新昌. 新型纸浆模塑通用平托盘的结构与性能研究[J]. 包装工程,2009,30(8):10-15.
- [8] 马卫静,陈满儒,李强. “利乐包”塑木托盘的有限元分析[J]. 包装工程,2011,32(1):76-79.
- [9] 惠烨,李翔,王长浩,等. 基于 SolidWorks 的包装容器结构参数化设计[J]. 包装工程,2007,28(12):119-120.
- [10] 董海清,苑卫星. 使用新西兰辐射松降低玻璃木箱耗材[J]. 玻璃,2002(6):42-43.