

基于SolidWorks的卡扣快装箱有限元分析

康柳, 刘婧, 张佳娟, 母军
(北京林业大学, 北京 100083)

摘要: **目的** 木制包装以其轻质高强的特性被广泛应用于大中型机电产品的外包装, 且其材料符合绿色可持续包装的特点, 为了避免在性能测试过程中浪费材料, 采用有限元分析对其受力状态进行模拟。 **方法** 通过SolidWorks软件对1500 mm × 800 mm × 733 mm卡扣包装箱进行建模, 在Simulation插件中进行静态力测试、跌落测试, 并获得应力云图、应变云图、位移云图及相关数据。 **结果** 在对卡扣快装箱进行有限元分析后, 得到了箱体应力、应变、位移云图及最大应力、应变发生点的坐标。 **结论** 卡扣箱的底板、托盘一体化可以降低卡扣箱底板产生的应力, 在静态力作用下的最大应力发生点与跌落过程中的最大应力发生点位置不同。

关键词: 木质快装箱; SolidWorks仿真; 卡扣

中图分类号: TB484.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)03-0065-05

Finite Element Analysis of Quickly Assembled Box with Buckles via SolidWorks

KANG Liu, LIU Jing, ZHANG Jia-juan, MU Jun
(Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: Wooden boxes are widely used in the exterior packages of large and medium-sized mechanical and electrical products, and the material has the characteristic of green and sustainable packages. To reduce the waste of specimen materials in performance test, the authors used finite element method to simulate the force analysis of the box. This paper used SolidWorks to model a container with the size of 1500 mm × 800 mm × 733 mm, and carried out the simulation tests using the Simulation plug-in. The static force and drop tests were conducted to obtain stress, displacement and strain contours as well as the relevant data. After finite element analysis of the quickly assembled box with buckles, the authors obtained the contours of stress, strain and displacement, and the coordinates of maximum stress and strain. The integration of box's baseboard and pallet decreased the stress on the bottom board of the box with buckles, and for the box subjected on the static force, the occurring point of maximum stress was different from that of the dropping box.

KEY WORDS: quickly assembled wooden box; SolidWorks simulation; buckle

木包装是机电设备与工业产品的主要运输包装容器, 特别是很多笨重、易碎及需要特殊保护等产品的不可或缺的储运器具^[1]。包装的作用主要是保护产品, 固定产品, 促进销售^[2]。实木包装箱本身有很多缺点, 最大的问题是不符合生态环保的要求^[3]。长期以来, 用于重载物品的通用木箱包装对大型机电设备的出口包装、存储和运输起到了巨大作用^[4]。近年来国

内市场上出现了不同形式的可循环使用的木质包装箱, 比较有代表性的是卡扣包装箱, 采用卡扣作为连接件可实现循环使用。丁毅等人^[5]对木质包装箱结构的优化进行了不同程度的研究, 但是探索方向为减少用料。不同种类的木材性质差别很大, 包装用木材应根据商品包装要求及木材的物理力学性能合理取材^[6]。定向结构刨花板(OSB)是世界公认的免检

收稿日期: 2014-06-06

基金项目: 北京林业大学大学生创新创业实践项目(X1310022041)

作者简介: 康柳(1992—), 女, 河北人, 北京林业大学本科生, 主攻木质包装。

通讯作者: 母军(1970—), 女, 博士, 北京林业大学副教授, 主要研究方向为包装材料和工艺。

包装材料,回收再利用比较简便,目前是国外包装箱和托盘工业最主要的包装材料^[7]。

计算机辅助创新是新产品开发中的一项重要技术,它以欧美国家迅速发展的发明问题解决理论为基础,并结合本体论、现代设计方法学及计算机软件技术等领域科学知识^[8]。

1 材料基本参数

1.1 木箱的基本参数

所选木箱的规格为 1500 mm × 800 mm × 733 mm,以卡扣作为箱板之间的连接件,卡扣数量为 32 个。

1.2 OSB 板的基本参数

材料参数的选取是有限元分析成功的关键^[12]。OSB 为各向同性材料,通过文献查阅得到 OSB 板参数:弹性模量为 4336.22 MPa,密度为 602 kg/m³,屈服强度为 9.83 MPa,泊松比为 0.40^[10-11]。

1.3 卡扣基本参数

卡扣选用合金钢,其参数:弹性模量为 210 GPa,密度为 0.0077 g/mm³,屈服强度为 620.422 MPa,泊松比为 0.28。

2 SolidWorks 有限元分析

2.1 软件简介

有限元分析是用较简单的问题代替复杂问题后求解。SolidWorks 是广泛应用的三维 CAD 建模和分析软件,可在完成零件、部件和总装的造型设计后,自动生成有限元网格并进行计算^[9]。基于 SolidWorks 三维设计软件及其插件 Simulation 对装配模型进行有限元分析,可以得到在不同工况下的应力、应变及位移云图。

2.2 工况分析

卡扣箱适用于内装物小于 1500 kg 的产品运输包装^[2],因此对 1500 mm × 800 mm × 733 mm 箱型进行仿真分析时,其底板所承受质量设为 1 t(包括内装物及箱体质量)。为了数值模拟,文中研究的包装箱为常见的 2 种放置状态:静态分析和动态分析。静态分析

包括静载、堆码、叉取,木箱受静载作用时,其顶面载荷为 5 kPa,底板受到内装物及箱板产生载荷(即 8167 Pa)的作用,与地面保持接触;木箱堆码时,其顶面载荷为 18 456.7 Pa,底板受到内装物及箱板产生的载荷即 8167 Pa,与地面保持接触;叉取木箱时,木箱顶面载荷为 5 kPa,底板同样作用有内装物及箱板产生的载荷 8167 Pa,与叉车的货叉接触约束。静载与堆码状态下约束面为托盘底面,主要受力面为顶板与底板,叉取状态下约束面为底板与货叉的接触面,主要受力面为顶板与底板。动力分析以面跌落测试为主,木箱中装有内装物质量超过 450 kg,跌落测试参照 B 类 ISTA 包装跌落测试标准,跌落高度设置为 150 mm。

2.3 有限元实体建模

由 SolidWorks 软件绘制箱体模型,进行有限元网格划分。在有限元分析过程中,划分网格是一个非常重要的环节,它可以将几何模型转化为有限元模型^[13]。卡扣的尺寸较小,所以在网格设置时将节点数及单元数都设置偏大,以保证 Simulation 的正常进行。箱体和卡扣的单元类型均为实体四面体单元,最终生成的节点数为 173 459,单元数为 93 329,自由度数为 512 667,见图 1。

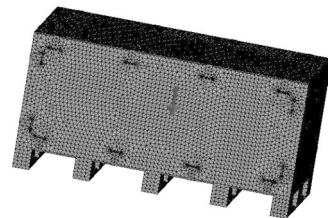


图1 网格划分

Fig.1 Mesh generation

3 模拟结果分析

3.1 应力云图

在静态力与动力作用下卡扣箱产生的应力云图见图 2。3 种静态力作用下应力云图分布相似,应力在各侧板、端板与顶板的卡扣联接部位变化明显。顶板有顶面载荷的作用,顶板中心部位应力值偏大。侧板与端板不直接受力,在顶面载荷的影响下与顶板、底板所产生应力小且均匀,说明托盘在一定程度上减小了应力。叉取状态有货叉的作用,货叉与底板中间接触部位(卡扣所在处)应力变化大。见图 3。



图2 应力云图

Fig.2 Stress contour

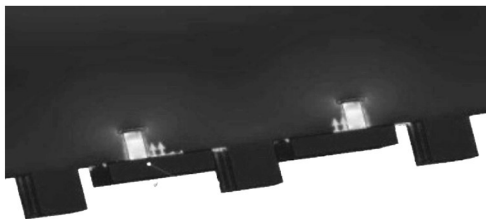


图3 货叉与底板接触部位

Fig.3 Contact site of fork with the baseboard

在跌落状态下,与静态力相比箱体产生的应力分布不均匀。在跌落过程中,最大应力发生在与地面接触的一瞬间,然后最大应力在底板、侧板、端板、顶板上逐渐分布,托盘产生了明显的应力变化,顶板与侧

板的卡扣联接处产生最大应力。

3.2 位移与应变云图

3种静态力作用的工况下,位移与应变变化相似,顶板及侧板的变化较明显,顶板位移与应变均由四周向中心以椭圆等值线递增,侧板位移在箱板中间部位发生明显变化,接近于中间卡扣联接位置,可以对卡扣位置调整使位移变化更均匀。在跌落状态下,顶板位移与应变由四周向中心以矩形等值线先增后减,侧板位移在与顶板的交界处变化较明显,侧板与端板应变分布较均匀,蔡丽娜^[6]在对框架木箱的有限元分析时出现大量局部应力分布不规则的情况,在不同工况下底板与顶板相比位移及应变分布均匀。位移、应变云图分别见图4—5。

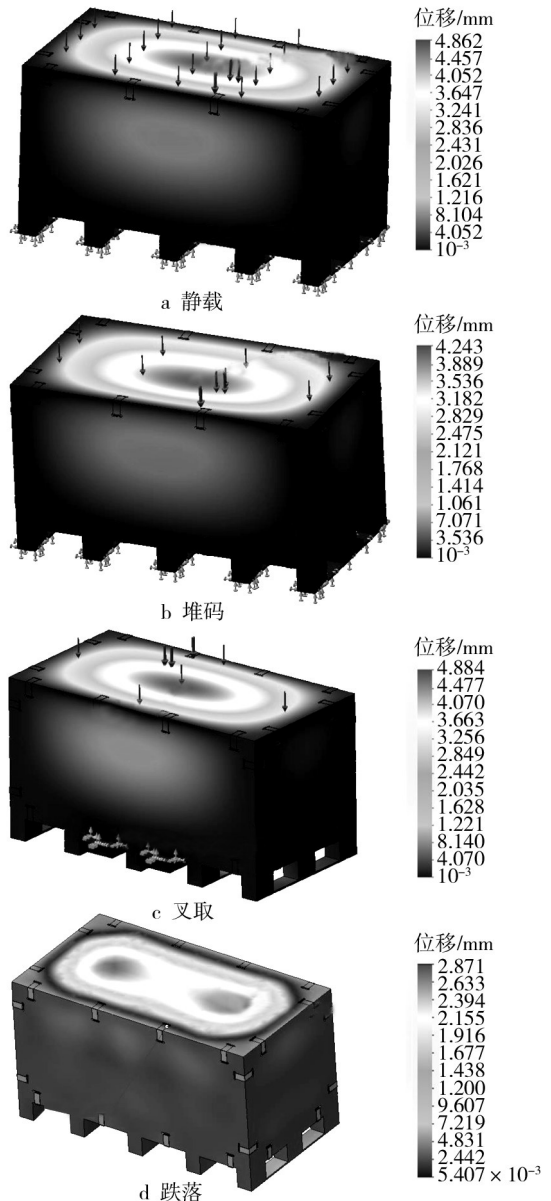


图4 位移云图

Fig.4 Displacement contour

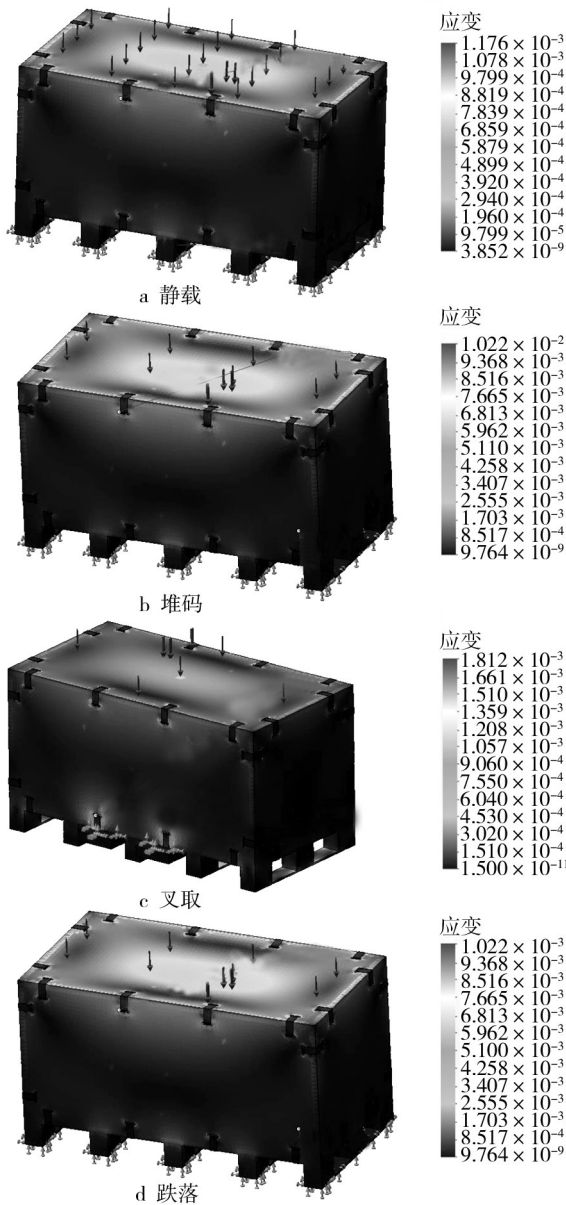


图5 应变云图
Fig.5 Strain contour

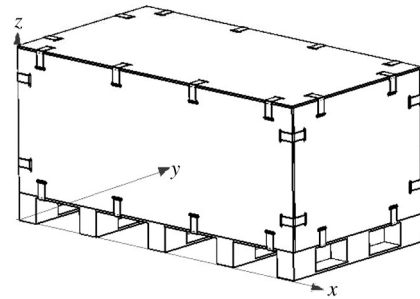


图6 木箱坐标
Fig.6 Wooden box in the Cartesian coordinate system

表1 最大应力
Tab.1 List of maximum stresses

点	x/mm	y/mm	z/mm	σ_{max}/MPa	
静载	A	520.00	-1.58	742.79	69.7
	B	980.00	801.58	742.79	69.4
堆码	C	525.00	801.58	742.79	204
叉取	D	525.00	801.58	742.79	56.1
	E	935.70	732.74	110.00	25.9
跌落	F	564.30	67.26	110.00	12.4
	G	515.60	800.00	666.98	12.1
	H	984.40	0	666.98	12.1

表2 最大应变
Tab.2 List of maximum strains

点	x/mm	y/mm	z/mm	$\epsilon_{max} \times 10^{-3}$	
静载	a	973.79	6.97	675.03	1.44
	b	542.63	793.01	675.01	1.39
	c	990.06	797.26	670.61	1.38
堆码	d	524.28	6.73	675.03	5.35
叉取	e	943.96	6.54	177.95	1.70
跌落	f	514.77	797.51	667.36	1.62

3.3 最大应力与最大应变

将正视图-左视图-仰视图交点定义为原点,长、宽、高分别设为x-y-z正方向,见图6。将堆码、静载、叉车、跌落等4种算例下的最大应力、最大应变通过坐标形式表现,见表1—2。

3.3.1 最大应力点

应力是指内力分布在某一点的集度。在不同工况下最大应力发生点相近或相同,最大应力点是箱体最易产生破坏的位置,最大应力点见表1。在堆码、静载和叉取状态下,最大应力点均位于侧板与顶板的卡扣联接部位。跌落产生较大应力的部位较多(点E、F、G、H),说明相对于静态力,动力作用对木箱影响更

大。跌落过程中的最大应力在底板的孔槽处,侧板与顶板的卡扣联接部位也产生较大应力。表1中 σ_{max} 表示在不同工况下箱体产生的应力最大值,产生的最大应力点在卡扣箱中的示意图7。

3.3.2 最大应变点

不同工况最大应变发生点见表2。静态力与跌落产生的最大应变均产生在侧板上,侧板上产生的最大应变在x方向(卡扣箱长度方向)的L/3与2L/3处,z方向(卡扣箱高度方向)距离顶端约60 mm处,叉取时由于货叉的作用,最大应变发生在z方向距离底板约60 mm处。表2中 ϵ_{max} 表示在不同工况下箱体产生的应变最大值,最大应变点在卡扣箱中的示意图8。

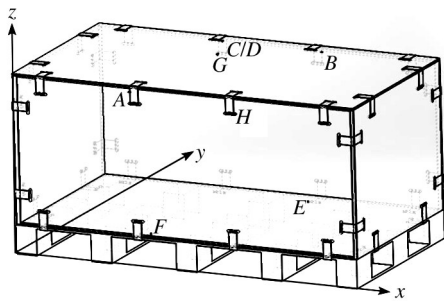


图7 最大应力位置

Fig.7 Location of maximum stresses

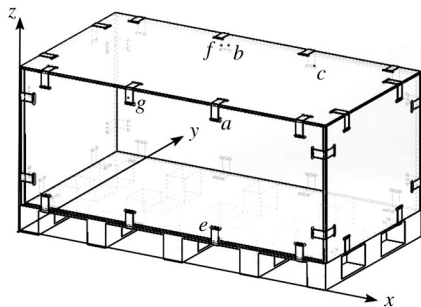


图8 最大应变位置

Fig.8 Location of maximum strains

4 结语

1) 采用SolidWorks对卡扣快装木箱进行了建模及有限元分析,分别在静态力和动力对装配体进行仿真模拟,得到应力、应变及位移云图,可显示箱体应力、应变及位移分布情况。

2) 卡扣箱的底板、托盘一体化大大降低了卡扣箱底板所产生的应力,提高了箱体的抗压性能,在物流运输中具有重要意义。

3) 在堆码、静载和叉取状态下,最大应力点均位于侧板与顶板的卡扣联接部位,跌落过程中的最大应力在底板的孔槽处,可以通过调整卡扣结构和槽孔尺寸、槽孔位置使最大应力值减小,减小应力突变。

4) 静态力与跌落产生的最大应变均产生在侧板上,侧板上产生的最大应变在卡扣箱长度方向 $L/3$ 与 $2L/3$ 处,卡扣箱高度方向距离顶端约60 mm或底端约60 mm处。

参考文献:

[1] 张书彬,杨明伦.我国木包装材料的现状与发展[J].中国包装工业,2002(10):32—33.
ZHANG Shu-bin, YANG Ming-lun. Present Situation and

Development of China's Wood Packaging Material[J]. China Packaging Industry, 2002(10):32—33.

- [2] 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 and Transport Packaging Design [M]. Beijing: Printing Industry Press, 2006.
- [3] 方熊飞.采用新技术改革运输包装—几种不同材质运输包装箱的比较[J].包装与食品机械,2000(5):26—28.
FANG Xiong-fei. Using New Technology to Reform the Transport Packaging—comparison of Several Different Materials Transport Packaging Box[J]. Packaging and Food Machinery, 2000(5):26—28.
- [4] 刘洪南,杨传民.配货堆码技术在仓储运输企业中的应用[J].包装工程,2003,24(3):63—65.
LIU Hong-nan, YANG Chuan-min. Application of Mixed Containerization in Storage and Transportation Enterprises[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(3):63—65.
- [5] 丁毅.木质包装箱结构优化设计[J].包装工程,2005,26(5):131—133.
DING Yi. Optimum Structural Design of Wooden Packaging Box[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(5):131—133.
- [6] 蔡丽娜,王玉龙,徐洁.框架木箱有限元受力分析[J].包装工程,2010,31(17):13—15.
CAI Li-na, WANG Yu-long, XU Jie. Wooden Framed Box Finite Element Stress Analysis[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(17):13—15.
- [7] 张方文,于文吉.木质包装材料的发展现状和前景展望[J].包装工程,2007,28(2):27—33.
ZHANG Fang-wen, YU Wen-ji. Development and Prospects of Wooden Packaging Material[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(2):27—33.
- [8] 李田,成思源,赵荣丽.基于计算机辅助创新技术的瓷碟包装结构设计[J].包装工程,2013,34(19):1—5.
LI Tian, CHENG Si-yuan, ZHAO Rong-li. Porcelain Dish Packaging Structure Design Based on the Technology of Computer Aided Innovation[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(19):1—5.
- [9] 惠焯,李翔,王长浩.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.
HUI Ye, LI Xiang, WANG Chang-hao. Parametric Design of Packaging Container Structure Based on SolidWorks[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(12):119—120.
- [10] 王正.两种木质复合材料弹性模量与阻尼比的动态测量[J].南京林业大学学报,2007,5(3):147—149.
WANG Zheng. Two Kinds of Dynamic Measuring Elastic Wood Composite Modulus and Damping Ratio[J]. Journal of

- 效学分析[J]. 人类工效学, 2006, 12(4): 4—7.
- XU Zhi-feng, JIANG Zu-hua, WEI Jin. The Application of Ergonomics-based Manual Material Handling Evaluation in SGM Vehicle Assembly Line[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2006, 12(4): 4—7.
- [5] 刘坚, 蒲海蓉, 于文恺, 等. 手工搬举作业的人因工程量化评估与改进研究[J]. 工业工程与管理, 2009, 15(1): 103—107.
- LIU Jian, PU Hai-rong, YU Wen-kai, et al. Quantitative Evaluation and Improved Research of Manual Materials Handling Based on Ergonomics[J]. Industrial Engineering and Management, 2009, 15(1): 103—107.
- [6] 王海燕, 王朝增, 吴迪冲, 等. 人因工效学在生产工位作业中的分析及应用[J]. 浙江理工大学学报, 2013, 30(4): 536—539.
- WANG Hai-yan, WANG Chao-zeng, WU Di-cong, et al. Analysis on Application of Human Factor Ergonomics in Production Workplace Operation[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2013, 30(4): 536—539.
- [7] KOLICH M, TABOUN S M. Ergonomics Modeling and Evaluation of Automobile Seat Comfort[J]. Ergonomics, 2004, 47(8): 841—863.
- [8] KUIJT-EVERS L F M, KRAUSE F, VINK P. Aspects to Improve Cabin Comfort of Wheel Loaders and Excavators According to Operators[J]. Applied Ergonomics, 2003, 34(3): 265—271.
- [9] KOLICH M. A Conceptual Framework Proposed to Formalize the Scientific Investigation of Automobile Seat Comfort[J]. Applied Ergonomics, 2008, 39(1): 15—27.
- [10] PARK S J, KIM J S, KIM C B. Comfort Evaluation and Bed Adjustment According to Sleeping Positions[J]. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 2009, 19(2): 145—157.
- [11] VERVER M M, LANGE R, VANHOOF J, et al. Aspects of Seat Modeling for Seating Comfort Analysis[J]. Applied Ergonomics, 2005, 36(1): 33—42.
- [12] KOLICH M, SEAL N, TABOUN S. Automobile Seat Comfort Prediction: Statistical Model vs Artificial Neural Network[J]. Applied Ergonomics, 2004, 35(3): 275—284.
- [13] 杨钟亮, 孙守迁. 面向坐姿舒适性测试的人机工程仿真系统[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 22(12): 2192—2196.
- YANG Zhong-liang, SUN Shou-qian. Ergonomics Simulation System for Sitting Comfort Measurement[J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2012, 22(12): 2192—2196.
- [14] 徐岩, 宋君. 大型印刷机械人机工程学关系探讨[J]. 包装工程, 2012, 33(20): 48—52.
- XU Yan, SONG Jun. Research on the Relationship between Large Printing Machinery and Man-machine Engineering[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(20): 48—52.
- [15] 张磊, 张芳燕, 刘洋铭. 自行车鞍座设计的人机工程学分析及测评方法研究[J]. 包装工程, 2012, 33(6): 118—120.
- ZHANG Lei, ZHANG Fang-yan, LIU Yang-ming. Research on Ergonomic Analysis and Evaluation Methods of Bicycle Saddle Design[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(6): 118—120.

(上接第69页)

- Nanjing Forestry University, 2007, 5(3): 147—149.
- [11] 周晓燕, 华毓坤. 定向结构板热物理特性的研究[J]. 木材工业, 1998(3): 14—18.
- ZHOU Xiao-yan, HUA Yu-kun. Study on Thermal Physical Properties of OSB[J]. Wood Industry, 1998(3): 14—18.
- [12] 王长智, 陈文阁. 基于ANSYS软件的产品跌落分析与耐跌结构设计[J]. 包装工程, 2013, 34(1): 44—45.
- WANG Chang-zhi, CHEN Wen-ge. Products Drop Analysis and Antidrop Structure Design Based on ANSYS[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1): 44—45.
- [13] 王歇成. 有限单元法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- WANG Xie-cheng. Finite Element Method[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [14] 田野, 赵雪微, 智慧. 新型转轮式红酒包装结构设计及其跌落有限元分析[J]. 包装工程, 2013, 34(19): 51—54.
- TIAN Ye, ZHAO Xue-wei, ZHI Hui. The New Rotary Wine Packaging Structure Design and Drop Finite Element Analysis [J]. Packaging Engineering, 2013, 34(19): 51—54.
- [15] 惠远鹏, 马占山. 包装木箱堆码设计计算[J]. 中国包装, 2012(5): 50—53.
- HUI Yuan-peng, MA Zhan-shan. Wooden Packaging Box Design Calculation of Stacking[J]. China Packaging, 2012(5): 50—53.