

基于 Ansys Workbench 的吸尘器振动与跌落仿真

卜杨¹, 张新昌^{1,2}

(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)

摘要: **目的** 验证立式吸尘器整体包装方案优化设计的保护和安全性能。**方法** 参考立式吸尘器产品流通过程中的环境参数, 对产品进行有限元建模和约束处理, 基于 Ansys Workbench 中的有限元思想, 分别模拟运输过程中随机振动、刹车、转弯、跌落等各种物流情况, 分析得到不同力学载荷作用下产品包装的变形、应力、应变以及破损情况。**结果** 瓦楞顶衬开槽处的设计还有待改进, 瓦楞纸箱在跌落时垂直方向上的变形和应变数值较小, 不影响整体包装的安全性和保护性。**结论** 瓦楞衬垫和瓦楞纸箱的抗压强度、抗冲击性能、抗震性均符合要求, 该立式吸尘器整体包装方案合格。

关键词: Ansys Workbench; 立式吸尘器; 随机振动; 刹车; 跌落仿真

中图分类号: TB485.3; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)13-0122-06

Simulation of Vibration and Drop of Vacuum Cleaner Based on Ansys Workbench

BU Yang¹, ZHANG Xin-chang^{1,2}

(1.Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2.Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment & Technology, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: The work aims to verify the protection and safety performances of the optimized design of overall packaging scheme of vertical vacuum cleaner. The finite element modeling and constraint handling of products were carried out by referring to the environmental parameters in the circulation process of vertical vacuum cleaner. The simulation of random vibration, braking, turning, drop and other logistics conditions in the transportation process was taken based on Ansys Workbench. The deformation, stress, strain and damage of the product package under different mechanical loads were obtained by analysis. The design at the slotting of corrugated top lining needed to be improved. In the vertical direction, the deformation and strain of corrugated box during the dropping were small, but they would not affect the safety and protection of overall package. The compressive strength, impact resistance and seismic resistance of corrugated liner and corrugated box conform to the requirements. The overall packaging scheme of vertical vacuum cleaner is qualified.

KEY WORDS: Ansys Workbench; vertical vacuum cleaner; random vibration; braking; drop simulation

目前,我国已成为世界上最大的家电产品制造国和出口国,小型家电产品行业得到了飞速的发展。现今全球约有90%的清洁电器在我国制造,国际上关于清洁电器产品包装的标准和管理日益严格,使得我国的出口形势十分严峻^[1],因此企业需要重视家电产品物流运输装载过程中可能出现的破损方式与检测手段。基于上述原因,在确定立式吸尘器整体包装优化方案后,需要进一步对其可靠性进行验证。由于文中包装对象成本高,且进行破坏性测试时所需样品个数

较多,测试仪器的要求高,导致试验成本较高^[2],所以对产品进行有限元建模,分别模拟分析运输过程中的随机振动、刹车、跌落等物流条件,在力学载荷作用下产品包装的变形、应力、应变以及破损情况。

1 立式吸尘器包装件模型的建立

1.1 Ansys Workbench 软件的简介

Ansys软件是一款融结构、流体、电场、磁场、

收稿日期: 2017-01-16

作者简介: 卜杨(1991—),女,江南大学硕士生,主攻现代物流工程与包装。

通讯作者: 张新昌(1961—),男,江南大学教授,主要研究方向为产品包装技术、包装材料。

声场分析于一体的大型通用有限元分析软件,它能与多数软件接口实现数据的共享和交换,是现代产品设计中的高级CAE工具之一^[3]。该软件分为预处理、分析计算和后处理三大模块,通过在Workbench操作系统中设置参数,如设计尺寸、材料属性等,并提交给底层求解器进行计算,得出的结果通过Workbench程序显示出来,并根据结果进行优化设计与分析^[4]。

1.2 立式吸尘器三维模型的建立

采用SolidWorks软件绘制产品的简化模型,主要包括立式吸尘器主机、手柄、软管、瓦楞衬垫和瓦楞外箱,并进行圆角简化,然后导入Ansys Workbench中进行下一步仿真分析,见图1。

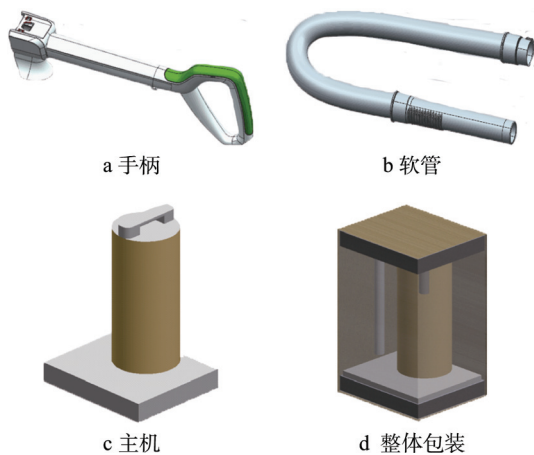


图1 三维模型
Fig.1 The 3D model

1.3 定义材料参数

材料参数的定义至关重要,产品整体包装件包括瓦楞纸板、ABS/PC、PVC等多种材料,通过试验和查找资料总结出各种材料的性能参数^[5],见表1。

表 1 材料的性能参数
Tab.1 The performance parameters of materials

材料	弹性模量/GPa	剪切模量/GPa	泊松比	密度/(g·cm ⁻³)
ABS/PC	2.41	0.862	0.3897	1.2
PVC	3.92	0.866	0.3	1.38
4.5 mm BE 瓦楞纸板	0.207	0.094	0.34	0.142
5 mm BE 瓦楞纸板	0.195	0.089	0.34	0.189

1.4 接触类型和网格划分

考虑到运输过程中的包装件状态,定义主机与上下瓦楞衬垫为绑定接触,附件与上衬垫为绑定接触,外包装箱与上下衬垫为不分离接触,外包装箱与地面为摩擦接触,主机与箱壁为摩擦接触。在分析计算前,需对模型进行网格划分,其结果直接关系到求解的准确度以及求解的速度。为消除网格划分粗糙造成的

结果误差,不同部位采取不同的网格划分方法和精度^[6]。地面采用Mapped Faced Mesh划分,产品采用自动网格划分,外箱使用四面体划分法中的Patch Independent方法。网格划分结果见图2。

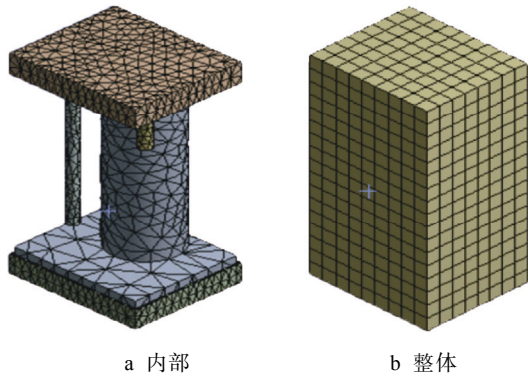


图2 网格划分结果
Fig.2 The mesh results

2 立式吸尘器包装件随机振动仿真

2.1 模态分析

根据实际运输情况,参考《中国公路运输随机振动功率谱密度曲线》,输入I级路谱为外部激励,一般测试采用等级II即可。模态分析是随机振动分析的基础,其固有频率和振型反映了包装件的振动特性是随机振动分析的必要条件^[7]。添加Modal模块,通过模块之间的数据共享,直接建立模态分析并生成结果。根据实际运输情况,如果包装件的固有频率恰好处于峰值频率段,便会发生共振,对产品造成严重损害。

一阶振型展示的是上下方向的颠簸,二阶是左右方向的振动,三阶是以纸箱几何中心为圆心进行的收缩变形,四、五、六阶是集弯曲扭转为一体的混合振动^[8]。从分析结果看,前6阶振型的固有频率覆盖范围在0~3 Hz,而产品主要是以汽车公路运输为主,其振动频率在3~4 Hz处达到峰值^[9],因此整体包装件与汽车不会发生共振,即该包装设计方案是合理的。

2.2 随机振动分析

通过模态分析后得到固有频率和振型参数,导入Random Vibration分析模块,进入随机振动分析。

1) 前处理。在Modal模块的基础上添加Random Vibration模块,通过模块之间的数据共享,直接建立随机振动分析模块。

2) 参数设置。在Random Vibration模块中添加加速度功率谱密度曲线,选择PSD Acceleration。代入模态分析得到的PSD曲线和功率谱密度函数中固有频率的数值,设置x和y 2个方向的参数,进行下一步叠

加分析。由于包装件为立式放置,因此y方向的力载荷、冲击加速度和变形量最大,并计算Directional Deformation上的变形量。

3) 求解及分析。模拟运输过程中随机振动的情况并验证包装件的安全性,从衬垫的y向变形和产品的应力2个方面求解,其运算结果见图3—4。

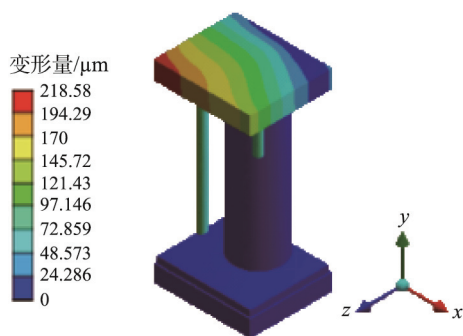


图3 瓦楞衬垫y向变形云图
Fig.3 The deformation nephogram of y direction

由图3可知,瓦楞顶衬位于左侧靠近手柄开槽部位的边角处变形量最大,为0.22 mm,远小于包装箱变形量标准值10 mm,因此不足以导致衬垫压溃或失去保护性能。分析其原因可能是开槽面积较大,且比右侧放置的软管质量大,在上下振动的情况下与箱壁发生撞击,导致变形。

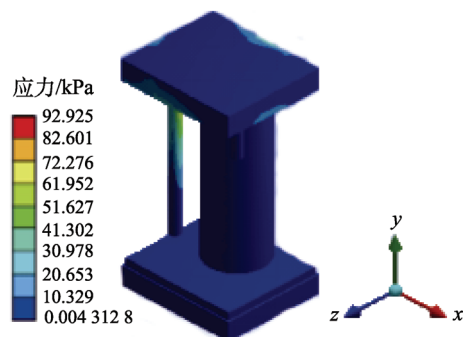


图4 产品应力云图
Fig.4 The stress nephogram of product

由图4可知,手柄的塑性应力最大为0.09 MPa,吸尘器主机和软管的塑性应力最大为0.01 MPa,而ABS/PC的许用应力为24.5 MPa, PVC的许用应力为31 MPa,故在随机振动条件下,产品材料的最大应力小于许用应力,产品的主机和附件都是安全的。

2.3 随机振动仿真结论

根据模态分析结果表明,立式吸尘器产品整体包装件在公路运输过程中不会发生共振现象;可以通过将手柄开槽部位向主机位置略微移动或改变软管的放置方法来改善包装的局部结构,以此解决瓦楞顶衬变形的问題;随机振动过程中产生的最大应力均小于产品材料许用应力值。由仿真结论可知,整体包装方案满足随机振动条件下对产品的保护要求,可以保证

产品在运输过程中的安全。

3 立式吸尘器包装件刹车仿真

3.1 前处理

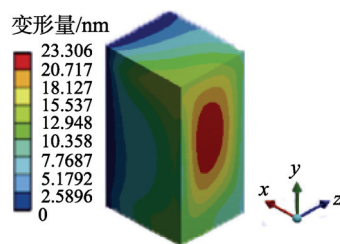
开启Ansys Workbench,导入产品简化模型,在Modal模块的基础上添加Random Vibration模块,通过模块之间的数据共享,直接建立刹车分析模块。

3.2 参数设置

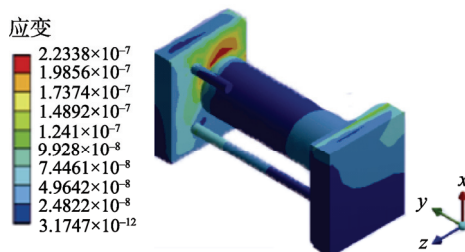
假设汽车向左行驶,设计在原始条件中不施加向左的初速度,直接给包装件一个向右的冲击加速度,即可模拟急刹车。选用公路运输中出现的 2.3 m/s^2 为最大冲击加速度^[10],然后选中纸箱的右侧面,选择Fixed Support Apply使其固定,在纸箱底面设置Displacement参数使在y方向上的位移为0,即只能在水平方向上振动,模拟汽车向左行驶急刹车时纸箱内部的产品与纸箱发生撞击的情形。

3.3 求解及分析

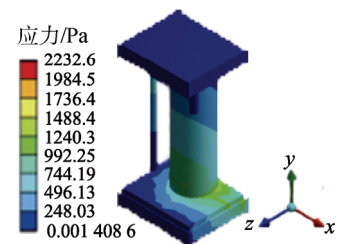
模拟运输过程中刹车的情况来验证产品整体包装件的安全性,将分别从瓦楞纸箱的变形和应变以及产品的应力等方面求解,其运算结果见图5。



a 瓦楞纸箱变形云图



b 瓦楞衬垫应变云图



c 产品应力云图

图5 包装件刹车仿真
Fig.5 Packaging brake simulation

由图5a可知, 最大变形量为23.3 nm, 变形量非常小, 不会对纸箱造成破坏, 因此瓦楞纸箱的抗冲击强度满足要求, 无需特别改进包装。分析发现形变主要发生在箱体左侧, 原因是汽车向左行驶, 刹车时加速度向右, 整体包装件因惯性作用向左运动, 与集装箱发生碰撞, 产生形变。

由图5b可知, 瓦楞衬垫在急刹情况下的应变最大值为 2.23×10^{-7} , 数值非常小, 因此不会对衬垫造成破坏, 无需做特别改进。从衬垫整体来看, 最大应变位于顶衬底面右处主机开槽位置, 原因主要是刹车时主机因惯性作用向左运动, 而主机与衬垫设置为绑定接触, 因此主机带动顶衬向左运动, 又因初始条件设置的顶衬和纸箱是不分离接触, 但加速度向右, 因此产生拉应力, 导致顶衬上主机开槽位置发生了应变。

由图5c可知, 主机和手柄都有不同程度的应力, 且最大值为0.002 MPa, 远小于ABS/PC的许用应力24.5 MPa, 因此在刹车时该包装件是安全的。应力主要集中在手柄上部和主机的右侧。原因是在设计时主要通过开槽固定手柄端部, 其余部分悬挂于箱内, 刹车时因惯性向左运动, 顶衬利用开槽部位对其有固定作用, 因此产生拉应力, 导致手柄上部应力集中; 底衬和主机为绑定接触, 底衬和纸箱为不分离接触, 刹车时主机会带动整个箱体向左运动, 产生拉应力, 由此主机出现应力集中的现象。

3.4 刹车仿真结论

刹车时包装箱变形最大值为23.3 nm, 变形量非常小, 不会对纸箱造成破坏, 由此可知, 瓦楞纸箱的抗冲击强度是满足要求的; 瓦楞衬垫应变最大值为 2.23×10^{-7} , 应变非常小, 由此可知刹车不会对衬垫造成破坏, 因此不需要做特别改进; 主机和手柄都有不同程度的应力, 且最大值为0.002 MPa, 远小于ABS/PC的许用应力24.5 MPa, 因此在刹车时该包装件是安全的。

4 立式吸尘器包装件跌落仿真

装卸搬运过程中无论是人工或机械, 都可能因人或因素或偶发事件使包装件与地面之间产生跌落冲击, 冲击力和加速度的大小取决于跌落高度、包装件质量、内衬缓冲性能和地面刚性^[11]。为验证新包装的保护性能及可靠性, 需进行跌落测试, 通过试验后才能投入实际生产应用, 文中选用Ansys Workbench模拟跌落进行瞬态动力学分析^[12]。

4.1 前处理

开启Ansys Workbench, 导入产品简化模型, 在瓦楞纸箱的基础上添加地面, 地面设置为刚性。然后

导入简化的几何模型, 添加Explicit Dynamics模块。

4.2 参数设置

假设纸箱在装卸中只受重力, 以初速度0 m/s从97 cm处跌落^[13], 做自由落体运动。为节省仿真计算时间, 可将跌落高度等效为初速度, 即纸箱从2 cm处跌落, 剩余高度等效为施加给包装件的初速度 v_0 和分析时间, 计算得到 $v_0=4.315$ m/s, $t=4.6$ ms。

在Explicit Dynamics模块中, 首先选中地面并点击Fixed Support使其固定, 然后在初始条件下设置纸箱有垂直向下的初速度 v_0 , 最后设置纸箱的重力加速度^[14]。

4.3 求解及分析

模拟装卸过程中整体包装件从97 cm高处跌落, 将分别从瓦楞纸箱的y向变形和应变以及产品的应力等方面来验证包装件的保护性, 其运算结果见图6。

产品整体包装件的跌落过程, 在垂直方向上产生的加速度和变形最大, 因此首先分析瓦楞纸箱在y方向上的变形情况。由图6a可知, 瓦楞纸箱上部处于最大变形位置, 向下逐步减小且最小变形量位于箱底, 最大位移变形量为0.25 mm, 远小于其许用位移2.15~3.44 mm^[15], 可见产品外包装瓦楞纸箱是安全的。

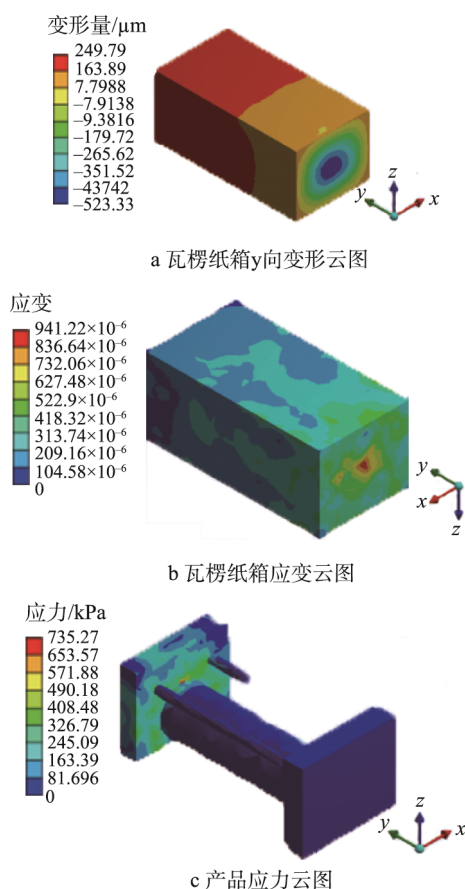


图6 包装件跌落仿真

Fig.6 Packaging drop simulation

由图6b可知,瓦楞纸箱应变最大值为 9.4×10^{-4} ,该方案包装件是安全的;应变最大值出现在纸箱的底部,分析其原因是跌落时整体包装件与地面接触时,瓦楞纸箱的底部最先受到冲击作用产生应变,由下至上,应变逐渐减弱。纸箱应变分布较为均匀。

由图6c可知,应力主要集中在顶衬和主机上,且最大值为0.735 MPa,远小于ABS/PC的许用应力24.5 MPa,因此在跌落时该包装件是安全的。产品整体包装件在跌落时为立式,因此竖直方向上的载荷最大,导致y方向产生的冲击加速度和变形量最大,而顶衬开槽较多,应力集中最严重。

4.4 跌落仿真结论

跌落时瓦楞纸箱整体最大变形量为0.25 mm,变形量非常小,不会对纸箱造成破坏;应变最大值为 9.4×10^{-4} ,应变较小,由此可知,瓦楞纸箱的抗冲击强度是满足要求的;主机和顶衬都有不同程度的应力,且最大值为0.735 MPa,远小于ABS/PC的许用应力24.5 MPa,因此在跌落时该包装件是安全的。

5 试验验证

采用江南大学实验室配置的仪器型号为SY40-315跌落试验台进行试验校核,根据包装质量和跌落高度的分析确定跌落高度为97 cm,然后进行一角三边六面跌落,检测过程见图7。试验后产品和包装箱均无破损,没有影响外观的明显变形或者顶白、开裂、破损、脱落等异常情况出现,则判定该包装合格。



图7 跌落测试
Fig.7 Drop test

6 结语

对初步完成的立式吸尘器整体包装方案进行Ansys 仿真分析以验证该包装方案的保护性能,用Ansys Workbench 模块分别模拟了随机振动、刹车、

跌落等物流条件下的立式吸尘器产品瓦楞纸箱的响应,分析其破损情况,得出需要改进的地方:瓦楞顶衬开槽处变形和应变较严重,可以根据主机和附件尺寸进行优化设计,尽量缩小尺寸,减少其开槽部位面积;瓦楞纸箱在跌落时垂直方向上的变形和应变较严重,可能是因为简化模型时将4片摇盖简化为1片摇盖,降低了强度。可知产品主机、附件、瓦楞衬垫和瓦楞纸箱包装的抗压强度、抗冲击性能、抗震性能均符合要求,该立式吸尘器整体包装方案合格。

参考文献:

- [1] DZIDZOVIC A. Made in China No More[D]. New York: City University of New York, 2014.
- [2] 李佳. X-PLY 超强瓦楞纸板的动力学特性研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2009.
LI Jia. Study on Dynamic Characteristics of X-PLY Super Corrugated Board[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2009.
- [3] 浦广益. Ansys Workbench12 基础教程与实例详解[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
PU Guang-yi. Ansys Workbench12 Basic Tutorial and Example Explanation[M]. Beijing: China Water Power Press, 2010.
- [4] 刘跃军, 江太君, 曾广胜, 等. 基于 Ansys 的新型瓦楞纸板结构的有限元分析[J]. 包装工程, 2010, 31(13): 11—13.
LIU Yue-jun, JIANG Tai-jun, ZENG Guang-sheng, et al. Finite Element Analysis of New Type Corrugated Board Structure Based on Ansys[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(13): 11—13.
- [5] 滑广军, 向红, 冯伟. 瓦楞纸箱的有限元建模及屈曲分析[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 34—35.
HUA Guang-jun, XIANG Hong, FENG Wei. Corrugated Box Finite Element Modeling and Buckling Analysis[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 34—35.
- [6] LEE M H, PARK J M. Flexural Stiffness of Selected Corrugated Structures[J]. Packaging Technology and Science, 2004(17): 275—286.
- [7] 李勤建, 高翠琢, 边国辉. 组件的模态分析和随机振动分析[J]. 半导体技术, 2012(10): 16.
LI Qin-jian, GAO Cui-zhuo, BIAN Guo-hui. Modal Analysis and Random Vibration Analysis of Components[J]. Semiconductor Technology, 2012(10): 16.
- [8] 崔拥军. 基于循环平稳与倒谱的工作模态分析研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2013.
CUI Yong-jun. Study on the Working Mode Analysis Based on Cyclostationary and Cepstrum[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2013.
- [9] 张菊飞. 基于 Ansys Workbench 的商用汽车暖风机的物流运输包装设计研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2013.

- ZHANG Ju-fei. Commercial Vehicle Heater Logistics and Transport Packaging Design and Research Based on Workbench Ansys[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2013.
- [10] 牟欣. 物流配送中的车辆路径与车辆装载整合优化问题研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
- MOU Xin. Study on Integrated Optimization of Vehicle Routing and Vehicle Loading in Logistics Distribution[D]. Chongqing: Chongqing University, 2008.
- [11] 韩春晓, 付芸. 基于 Ansys Workbench 的镜头跌落仿真分析研究[J]. 长春大学学报, 2013, 23(2): 149—151.
- HAN Chun-xiao, FU Yun. Research on Simulation of Lens Drop Based on Ansys Workbench[J]. Journal of Changchun University, 2013, 23(2): 149—151.
- [12] 高德, 董静, 李军. 基于非线性有限元的瓦楞纸板动态冲击响应的仿真研究[J]. 包装工程, 2006, 27(4): 10—11.
- GAO De, DONG Jing, LI Jun. Simulation Study on Dynamic Response of Corrugated Board Based on Nonlinear Finite Element[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(4): 10—11.
- [13] 华丽. 洗衣机运输包装的跌落仿真及可靠性探讨[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- HUA Li. Drop Simulation and Reliability Discussion of Washing Machine Packaging[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [14] NEWTON R E. Fragility Assessment Theory and Test Procedure[J]. Virology, 1968(1): 235—239.
- [15] PANYARJUN O, BURGESS G. Prediction of Bending Strength of Long Corrugated Boxes[J]. Packaging Technology and Science, 2001(15): 49—53.