

工控设备缓冲包装跌落试验及其仿真分析

李萌, 鲁宁, 李佳德

(上海新时达电气股份有限公司, 上海 201801)

摘要: **目的** 研究某工控设备缓冲包装的跌落数值仿真技术。**方法** 建立一种工控设备缓冲包装的跌落仿真模型,从仿真结果中获得跌落加速度曲线和产品的等效应力云图,观察缓冲包装的变形动画;对比缓冲包装的跌落试验,验证了跌落仿真模型;基于验证的跌落仿真模型,研究EPE衬垫尺寸对缓冲包装跌落冲击响应的影响规律。**结果** 跌落仿真与跌落试验的加速度曲线趋势基本吻合,峰值加速度相差仅0.8%;仿真的等效应力云图显示产品满足强度要求,未发生永久变形,与跌落试验结果一致。对EPE衬垫尺寸的跌落缓冲研究表明,相对于缓冲面积,缓冲厚度的大小对跌落加速度具有更为显著的影响。**结论** 建立的跌落仿真模型具有较高的模拟精度,为产品的缓冲包装设计及其优化奠定了良好基础。

关键词: 跌落试验; 仿真分析; 缓冲包装; 加速度响应

中图分类号: TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)05-0074-05

Drop Test of an Industrial Control Equipment Cushion Packaging and Its Simulation Analysis

LI Meng, LU Ning, LI Jia-de

(Shanghai STEP Electric Corporation, Shanghai 201801, China)

ABSTRACT: To investigate the drop numerical simulation technology of an industrial control equipment cushion packaging. The drop simulation model of an industrial control equipment cushion packaging was established. The drop acceleration curve and equivalent stress cloud were obtained from simulation results and deformation animation was observed. Comparative drop tests of cushion packaging was designed to validate the drop simulation model. Based on the verified drop simulation model, the effect of EPE cushion size on the drop impact response of cushion packaging was studied. The drop acceleration curve from drop simulation was basically in agreement with that of the drop test and the difference in peak acceleration was only 0.8%. The equivalent stress cloud showed that the product met the strength requirement and permanent deformation was not produced, which was in accordance with the drop test results. The research on EPE cushion size revealed that the cushion thickness had more significant effect on drop acceleration compared with cushion area. The drop simulation model established in this paper had high accuracy and could be used in structure design and optimization of cushion packaging in the future.

KEY WORDS: drop test; simulation analysis; cushion packaging; acceleration response

为了避免产品在流通过程中受到振动和冲击作用而发生破损,必须对产品进行缓冲包装设计^[1-2]。合理地进行缓冲包装设计,使产品在运输、装卸及贮存过程的损失减小到最少,成本降到最低,具有重大的

经济和社会意义^[3-4]。产品缓冲包装是否能达到预期的设计意图,能否在流通过程中使产品免遭破损,需要进行运输包装性能测试,以评估缓冲包装的防护程度^[5-6]。跌落试验是评价缓冲包装防护性能必不可少

收稿日期: 2014-10-31

作者简介: 李萌(1987—),男,回族,河南郑州人,硕士,上海新时达电气股份有限公司结构工程师,主要研究方向为缓冲包装设计及其仿真。

的部分,但其具有成本高和周期长的缺点,而且无法观察缓冲结构的动态变化。

随着有限元技术的发展和计算机性能的提高,数值仿真方法在产品设计中发挥着越来越重要的作用^[7-8]。基于跌落仿真的缓冲包装设计流程为:在完成产品的缓冲包装设计后,首先对缓冲包装件进行跌落仿真,然后分析仿真结果,评估缓冲包装的防护性能,判断包装防护是欠包装、过包装,还是适度包装,接着根据分析结果决定是否重新设计缓冲包装,如此循环,直到确定最佳的缓冲包装设计方案,最后通过跌落试验验证确认。借助数值仿真技术,设计人员可以方便高效地进行缓冲包装件的结构改进与优化,从而缩短开发周期,降低研发成本。显然,基于跌落仿真的缓冲包装设计关键是确保仿真结果的可靠有效,仿真精度必须在可接受的范围内,否则不具有参考意义。在此,针对某种工控设备的缓冲包装,结合跌落试验,研究跌落仿真的建模方法,对比仿真与试验结果,验证了仿真结果的有效性。

1 缓冲包装跌落试验

1.1 试验样品及方法

试验样品采用一款工控设备的缓冲包装,缓冲材料为EPE,包装箱为AB型瓦楞纸箱。包装件的质量为2.6 kg,根据ISTA 1A-2001《包装性能测试》,选择760 mm的跌落高度,跌落方式为面跌落,共进行5次重复跌落,跌落试验设备见图1。



图1 跌落试验设备
Fig.1 Equipment of drop test

跌落试验采用了动态数据采集系统获得包装件在跌落试验中的加速度响应。动态数据采集系统由东华测试技术股份有限公司提供,型号为DH5922N,采样频率为10 kHz;试验采用压阻式加速度传感器,质量为10 g,灵敏度为0.0561 mV/(m·s⁻²)。

在跌落试验时,首先将跌落试验机的转臂调整到指定高度;然后将加速度传感器用502胶水粘结在产

品外壳的中心点附近,用胶带将包装箱重新封好后水平放置在转臂的支撑台面上;接着设置动态数据采集仪的相关参数,选择采样频率,输入传感器灵敏度,调试测试系统无误后进行采样;最后启动跌落装置,转臂快速旋转释放包装件,包装件在重力作用下按预定的面跌落姿态自由下落与冲击台面相撞,动态数据采集仪自动采集加速度响应。

1.2 试验数据处理

由于受到噪声的干扰,跌落试验得到的加速度曲线波动比较大,需要通过滤波处理消除高频噪声^[9-10]。常用的加速度滤波方法主要有SAE J211/1的CFC60和CFC180,截止频率分别为60 Hz和180 Hz,用于去除高于截止频率的频率成分。滤波的原则是在保证原始数据变化趋势的前提下,使滤波后的曲线更为平滑。对比2种加速度滤波方法,发现CFC180相对于CFC60能较准确地反映原始数据的曲线变化趋势,见图2。由此,选择CFC180滤波得到的加速度曲线作为试验曲线。

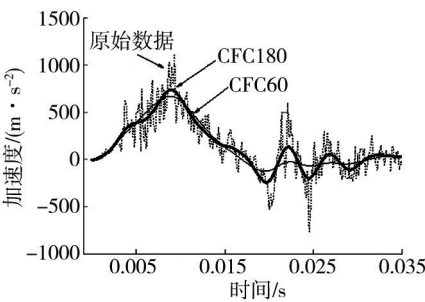


图2 跌落试验中的加速度曲线及滤波处理
Fig.2 Acceleration curve and its filtering in drop test

2 跌落仿真建模

几何模型的简化和网格划分是建立跌落仿真模型的重要环节,直接影响仿真结果的精度和模型的规模^[11]。该工控设备由钣金件和PCB模组组成,PCB模组含有变压器、电容和若干芯片,零部件之间的连接方式为螺钉连接。将几何模型导入前处理软件中,对钣金件和PCB板抽取中面,接着进行几何清理与简化,去除对结果影响很小的圆角、孔洞等结构。钣金件、PCB板和瓦楞纸箱采用二维壳单元网格,变压器、电容及EPE衬垫采用实体单元网格,网格尺寸为5 mm。仿真模型中的材料参数见表1。EPE的应力-应变曲线对仿真结果具有显著影响,根据GBT 8168—2008《包装用缓冲材料静态压缩试验方法》得

到 EPE 的应力-应变曲线,然后将其输入到 EPE 的材料模型中。

表 1 跌落仿真模型材料参数
Tab.1 Material parameters of the drop simulation model

材料	密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	弹性模量/ GPa	泊松比	屈服强度/ MPa
控制盒钣金件	7850	210	0.3	235
PCB 板	1850	20	0.11	—
EPE 衬垫	27	0.003	0.1	—
瓦楞纸箱	110	$E_x=0.447$	$\mu_{xy}=0.37$	—
		$E_y=0.221$	$\mu_{yz}=0.01$	—
		$E_z=0.001\ 38$	$\mu_{xz}=0.01$	—

跌落仿真中的地面由固定的刚性墙表示。为了减小求解时间,刚性地面与缓冲包装件之间的距离设置为 1 mm,以缓冲包装件在跌落实验中即将接触地面时的速度作为初始速度^[12],重力加速度取 9.81 m/s^2 。接触类型采用广泛应用的自动单面接触,用于产品与 EPE 之间以及 EPE 自身的接触问题分析。其中,EPE 衬垫需要设置内部接触和沙漏控制参数,以提高计算的稳定性。建立的跌落仿真模型见图 3。

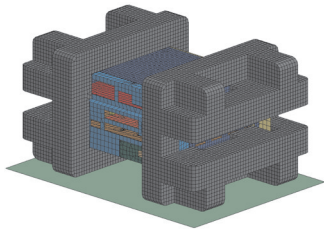


图 3 跌落仿真模型
Fig.3 Drop simulation model

3 跌落试验与仿真结果分析

缓冲包装的跌落分析主要从跌落加速度和外观变形等 2 个方面来评估产品的损坏。根据破损边界曲线理论,产品结构的破损受 2 个边界条件的约束,即允许的最大加速度和冲击脉冲持续时间^[13-14]。最大跌落加速度是结构设计的重要依据。产品的缓冲包装对跌落冲击的响应特性和产品防护效果,体现在跌落冲击过程中包装对产品最大加速度的弱化程度^[15-16]。缓冲包装还应避免产品出现永久变形,对于钣金件来说,产生较大的塑性变形就意味着缓冲包装未提供充足的保护,通常采用 Von Mises 应力来评估产品的外观变形。

3.1 跌落加速度分析

跌落试验和仿真的加速度曲线见图 4。从图 4 中可以看出,跌落试验与仿真结果的加速度曲线波形在约 15 ms 的冲击脉冲范围内基本吻合。在加速度增大的阶段,仿真与跌落试验的曲线轨迹非常接近,在 5 ms 左右出现差异,试验曲线的斜率发生变化,这可能是瓦楞纸箱的压缩变形对跌落加速度的影响,由于跌落仿真中尚未有瓦楞纸的材料模型,因而目前无法准确模拟瓦楞纸的压缩变形。跌落试验的平均峰值加速度为 734 m/s^2 ,即 73.4 g ,仿真的峰值加速度为 72.74 g ,减小了 0.8%,峰值加速度出现在 EPE 压缩变形最大的时刻,见图 5。跌落试验与仿真在冲击脉冲之外的加速度曲线显示出较大差异,跌落试验曲线表现为振荡衰减,仿真曲线则显示出平稳波动的特点,这可能是由于仿真与跌落试验在材料阻尼及空气阻力等方面有所差异。

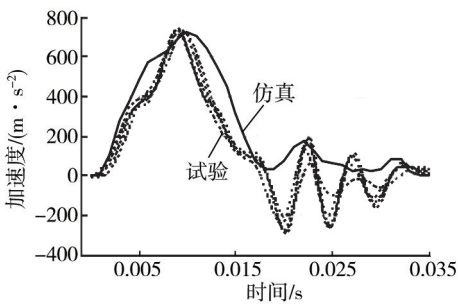


图 4 跌落试验与仿真的加速度曲线
Fig.4 Acceleration curve of drop test and simulation

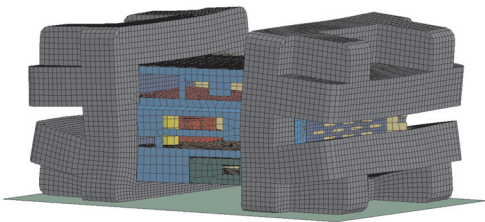


图 5 峰值跌落加速度时刻的 EPE 变形
Fig.5 EPE deformation at the peak drop acceleration time

3.2 外观变形分析

峰值跌落加速度时刻的等效应力云图见图 6,最大应力出现在与驱动 PCB 板螺钉连接的主控板支架处,数值为 219 MPa ,小于钣金材料的屈服强度。产品的 2 个 PCB 模组,均是通过 M3 螺钉连接在主控板支架上,而且主控板支架最大等效应力处的受力状况与悬臂梁类似,因此其数值较大。从图 6 中还可以看出,在

外壳的螺钉连接处,以及与底板接触的折弯部分应力较大,达到了153.6 MPa,而产品其余部件的等效应力则较小,总的来说产品满足强度要求。经观察,跌落试验中产品未发生较大的肉眼可见的永久变形,跌落试验与仿真在产品外观变形方面的结果是一致的。

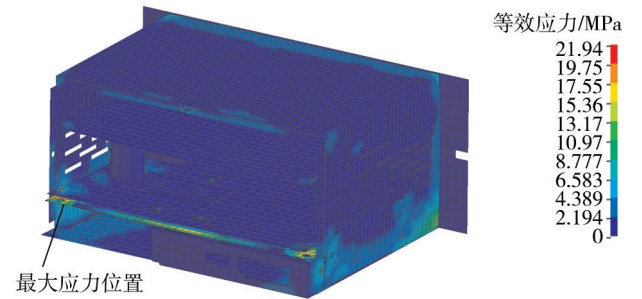


图6 峰值跌落加速度时刻的等效应力云图
Fig.6 Equivalent stress nephogram at the peak drop acceleration time

4 EPE 衬垫尺寸的跌落冲击研究

通过对比分析缓冲包装的跌落试验及其仿真结果,验证了跌落仿真模型的有效性。可以采用缓冲包装的跌落仿真,进一步研究EPE衬垫尺寸对缓冲包装件跌落冲击响应的影响规律,从而更好地指导缓冲包装设计。根据跌落仿真工况,建立不同尺寸EPE衬垫的跌落仿真模型,获得仿真的跌落加速度曲线。EPE衬垫尺寸包括衬垫厚度和缓冲厚度,其中衬垫厚度为EPE片材的厚度,直接关系缓冲面积的大小。

缓冲厚度为35 mm的4种衬垫厚度跌落加速度曲线见图7。从图7中可以明显地看出,在缓冲厚度一定的情况下,衬垫厚度对跌落加速度曲线的影响较小,峰值加速度相差不大。与衬垫厚度相比,缓冲厚度对跌落加速度具有显著影响。衬垫厚度为35 mm时,不同缓冲厚度的跌落加速度曲线见图8,缓冲厚度由35 mm减小到30 mm时,峰值跌落加速度增大3.61 g,增幅为4.96%;而当缓冲厚度继续减小到25 mm和20 mm时,峰值跌落加速度分别增大了11.24 g和28.31 g,增幅分别为15.45%和38.92%,这充分说明缓冲厚度是影响峰值加速度大小的重要因素。

衬垫厚度与缓冲厚度同时改变时的跌落加速度响应见图9。图9中4种衬垫尺寸的衬垫厚度与缓冲厚度大小相同,分别为20,25,30,35 mm。图9与图8具有相似的曲线特征,当衬垫尺寸减小时,跌落冲击的脉冲宽度依次缩短,峰值跌落加速度则大幅升高。各种衬垫尺寸的峰值加速度见图10,对于20 mm和25

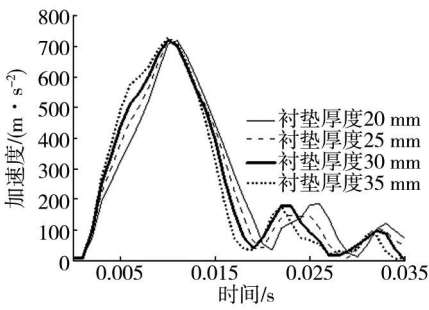


图7 4种衬垫厚度的跌落加速度曲线
Fig.7 The drop acceleration curves with four kinds of liner thickness

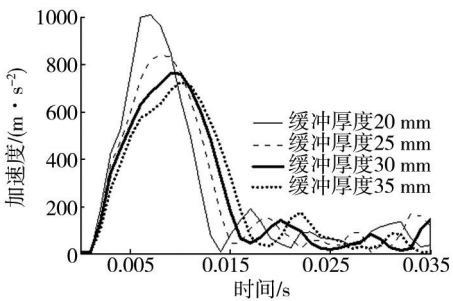


图8 4种缓冲厚度的跌落加速度曲线
Fig.8 The drop acceleration curves with four kinds of cushion thickness

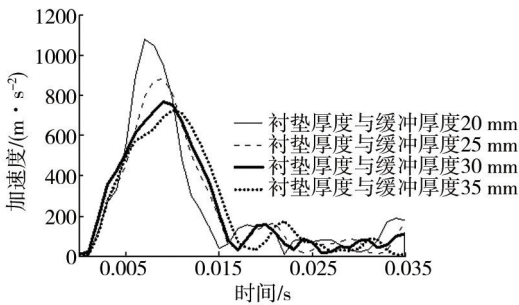


图9 衬垫厚度和缓冲厚度相等时的跌落加速度曲线
Fig.9 The acceleration curves of equal liner and cushion thickness

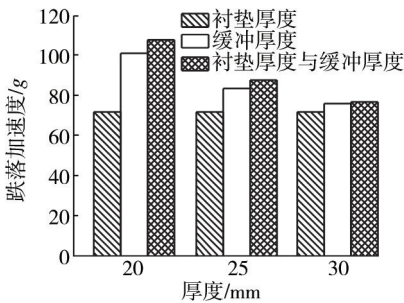


图10 各种衬垫尺寸的峰值加速度对比
Fig.10 Comparison of peak acceleration for all kinds of liner sizes

mm 的衬垫厚度,缓冲厚度的减小使得峰值加速度急

剧增大,当缓冲厚度由 35 mm 减小到 20 mm 和 25 mm 时,峰值加速度分别增大 50.27% 和 22.99%。对于 30 mm 的衬垫厚度,缓冲厚度的减小并未造成跌落加速度的大幅增加,增幅仅为 6.58%。对于特定的缓冲厚度,衬垫厚度进一步减小时,跌落加速度并未呈现较大幅度的增长。由此可见,当衬垫宽度和缓冲厚度同时作用时,缓冲厚度依然对峰值跌落加速度的大小起着决定性作用。综合分析各种衬垫尺寸的跌落加速度响应,可以认为 30 mm 的衬垫尺寸具有较好的缓冲防护效果,其峰值加速度与 35 mm 的衬垫尺寸相差不大,从而在保证产品不发生破损的前提下,可以降低包装成本,提高产品竞争力。

5 结语

结合缓冲包装件的跌落试验,对缓冲包装件的跌落数值仿真技术进行了研究,对比了跌落试验与仿真结果,其加速度曲线变化趋势基本吻合,跌落仿真在峰值加速度时刻的等效应力云图显示,产品满足强度要求,未发生永久变形,与跌落试验结果一致。从跌落加速度和外观变形等 2 方面都说明,跌落仿真具有较高的模拟精度,为缓冲包装结构设计及其优化奠定了良好的基础。同时,基于验证的跌落仿真模型,采用数值仿真的方法研究了 EPE 衬垫尺寸对缓冲包装跌落冲击响应的影响规律,相对于缓冲面积,缓冲厚度的大小对跌落加速度具有更为显著的影响。

参考文献:

- [1] 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 Transportation Packaging Design [M]. Beijing: Graphic Communications Press, 2006.
- [2] 张波涛,叶梁玉,刘朝阳,等. EPE 缓冲包装优化设计[J]. 包装工程, 2006, 27(6): 211—212.
ZHANG Bo-tao, YE Liang-yu, LIU Zhao-yang, et al. Analysis of Optimal Design and Manufacturing of EPE Cushion Packaging[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 211—212.
- [3] 刘晓艳,郑华明,曹国荣. EPS 与 EPE 组合使用的力学性能研究[J]. 包装工程, 2006, 27(6): 17—18.
LIU Xiao-yan, ZHENG Hua-ming, CAO Guo-rong. Study of the Mechanical Performance of EPS and EPE Combination[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 17—18.
- [4] 赵荣丽,李克天,何卫锋,等. 变压器运输包装缓冲衬垫设计[J]. 包装工程, 2010, 31(21): 19—22.
ZHAO Rong-li, LI Ke-tian, HE Wei-feng, et al. Design of Bumper Pad for Transport Package of Transformer[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(21): 19—22.
- [5] 王军,钱静,卢立新. 产品运输包装可靠性设计[J]. 包装工程, 2006, 27(1): 119—120.
WANG Jun, QIAN Jing, LIU Li-xin. Reliability Design of Product Transportation Package[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(1): 119—120.
- [6] 郭彦峰,付云岗,许文才,等. 缓冲包装件的运输包装性能测试与评估技术[J]. 包装工程, 2006, 27(4): 26—28.
GUO Yan-feng, FU Yun-gang, XU Wen-cai, et al. Performance Test and Evaluation Technology for Transport Packaging[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(4): 26—28.
- [7] JU R, HSIAO B. Drop Simulation for Portable Electronic Products[C]// 8th International LS-DYNA Users Conference. Dearborn, Michigan USA, 2004(14): 1—6.
- [8] WU Ja-son. Advanced Modeling and Drop Simulation with New Features of LS-DYNA[C]// 9th International LS-DYNA Users Conference. Dearborn, Michigan USA, 2006: 1—14.
- [9] 白中浩,曹立波,刘城花. 汽车碰撞试验数据处理研究[J]. 客车技术与研究, 2004, 26(3): 5—7.
BAI Zhong-hao, CAO Li-bo, LIU Cheng-hua. Research on the Auto Crash Test Data Processing[J]. Bus Technology and Research, 2004, 26(3): 5—7.
- [10] 白中浩,曹立波,乐中耀. 数字滤波技术在汽车碰撞试验中的应用研究[J]. 湖南大学学报:自然科学报, 2005, 32(2): 13—16.
BAI Zhong-hao, CAO Li-bo, YUE Zhong-yao. Research on the Application of Digital Filter Technology in Auto Crash Test [J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2005, 32(2): 13—16.
- [11] 刘荣军,吴新跃,郑建华. 有限元建模中的几何清理问题[J]. 机械设计与制造, 2005(9): 145—147.
LIU Rong-jun, WU Xin-yue, ZHENG Jian-hua. The Problem of Geometry Clean in Constructing Finite Element Model[J]. Machinery Design & Manufacture, 2005(9): 145—147.
- [12] 刘永辉,张银. 基于有限元分析的洗衣机跌落冲击仿真及改进设计[J]. 振动与冲击, 2011, 30(2): 164—166.
LIU Yong-hui, ZHANG Yin. Dropping Simulation and Design Improvement of a Washing Machine Based on FE analysis[J]. Journal of Vibration and Shock, 2011, 30(2): 164—166.
- [13] 赵庆海,王伟. 破损边界理论局限性的讨论[J]. 包装工程, 2006, 27(2): 68—69.
ZHAO Qing-hai, WANG Wei. Discussion on Limitation of Damage Boundary Theory[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(2): 68—69.
- [14] 谢涛. 线性系统的跌落冲击解研究[J]. 无锡职业技术学院学报, 2005, 4(3): 32—34.
XIE Tao. Research on the Dropping Shock Response of Linear System[J]. Journal of Wuxi Institute of Technology, 2005, 4

- HE Nan-zhi, JIANG De-fu. Consideration of Food and Packaging Machinery Development in China[J]. Packaging World, 2009(1): 28—29.
- [9] 钟纪宝. 包装机械产业的四大发展趋势[J]. 中国包装工业, 2006(2): 28.
- ZHONG Ji-bao. Four Development Trends of Packaging Machinery Production[J]. China Packaging Industry, 2006(2): 28.
- [10] 陈润洁, 王红军, 边玉鸾. 真空包装机技术标准与检测方法的研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(8): 205—207.
- CHEN Run-jie, WANG Hong-jun, BIAN Yu-luan. Study on Standard and Inspection Method of Vacuum Packaging Machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(8): 205—207.
- [11] 杨传民, 刘铭宇, 汪浩, 等. 给袋式包装机取袋机构的运动学分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(S2): 161—166.
- YANG Chuan-min, LIU Ming-yu, WANG Hao, et al. Kinematic Analysis of Bag-picking Mechanism in Automatic Bag-delivering Packaging Machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(S2): 161—166.
- [12] 杨传民, 汪浩, 刘铭宇, 等. 给袋式包装机撑袋空间组合机构的运动分析[J]. 包装工程, 2014, 35(5): 35—40.
- YANG Chuan-min, WANG Hao, LIU Ming-yu, et al. Kinematic Analysis of Spatial Combined Mechanism for Bag Opening in Automatic Bag Packaging Machine[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(5): 35—40.
- [13] 侯红红, 杨传民, 汪浩, 等. 茴香及芹菜基可食性包装纸热封性能的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(15): 23—27.
- HOU Hong-hong, YANG Chuan-min, WANG Hao, et al. Heat Sealing Performance of Fennel and Celery Based Edible Wrapping Paper[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15): 23—27.
- [14] 彭智松. 全自动立式充填真空包装机的研制[J]. 广东科技, 2010(18): 29—32.
- PENG Zhi-song. Fully Automatic Vacuum Packaging Machine with Vertical Feed[J]. Guangdong Science and technology, 2010(18): 29—32.
- [15] 彭智松. 智能型全自动真空茶叶包装机: 中国, ZL200910131897.0[P]. 2009—10—13.
- PENG Zhi-song. Intelligent Automatic Tea Vacuum Packaging Machine: China, ZL200910131897.0[P]. 2009—10—13.

(上接第52页)

- wood[J]. Holzforschung. 2012, 66(4): 427—431.
- [13] 刘振海, 陆立明, 唐远旺. 热分析简明教程[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- LIU Zhen-hai, LU Li-ming, TANG Yuan-wang. Thermal Analysis Tutorial[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [14] 翁诗甫. 傅里叶变换红外光谱分析[M]. 第2版. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- WENG Shi-fu. Fourier Translation Infrared Spectroscopy[M]. The Second Edition. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [15] MENG G T, MA C Y. Fourier-transform Spectroscopic Study of Globulin from Phaseolus Angularis[J]. Inter. J. Biol. Macromolecules, 2001, 29: 287—294.
- [16] CHEN Nai-rong, LIN Qiao-jia, RAO Jiu-ping. Water Resistances and Bonding Strengths of Soy-based Adhesives Containing Different Carbohydrates[J]. Industrial Crops and Products, 2013, 50: 40—49.
- [17] 陈奶荣, 林巧佳, 卞丽萍. 改性豆胶胶合板热压工艺优化及固化机理分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(11): 248—253.
- CHEN Nai-rong, LIN Qiao-jia, BIAN Li-ping. Curing Mechanism of Modified Soy-based Adhesive and Optimized Plywood Hot-pressing Technology[J]. Transaction of Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(11): 248—253.
- [18] 林贤福. 现代波谱分析方法[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2009.
- LIN Xian-fu. Modern Spectrum Analysis Method[M]. Shanghai: East China University of Science and Technology Press, 2009.

(上接第78页)

- (3): 32—34.
- [15] 马国鹭, 刘丽贤, 曾国英. 长虹某型电视机包装的跌落冲击响应分析[J]. 包装工程, 2008, 29(9): 6—7.
- MA Guo-lu, LIU Li-xian, ZENG Guo-ying. Dropping Impact Analysis of the Packaging Structure of Changhong Television[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(9): 6—7.
- [16] 马国鹭, 刘丽贤, 曾国英. 长虹某型电视机的跌落仿真分析[J]. 噪声与振动控制, 2008(6): 168—170.
- MA Guo-lu, LIU Li-xian, ZENG Guo-ying. Dropping Emulation Analysis of Changhong TV Set[J]. Noise and Vibration Control, 2008(6): 168—170.