

文章编号: 1006-4710(2013)04-0485-06

基于平板电脑纸浆模塑缓冲衬垫的跌落仿真

华琪, 黄颖为

(西安理工大学 印刷包装工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 针对某款平板电脑的新型可折叠一体成型式纸浆模塑缓冲衬垫, 参照实物跌落试验, 利用 ANSYS/LS-DYNA 进行仿真。仿真结果与纸浆模塑衬垫的缓冲机理一致, 且与实物跌落试验的测试曲线相吻合, 表明本文方法可行且有效。

关键词: 纸浆模塑衬垫; 平板电脑; 跌落仿真

中图分类号: TB485.1, TB487 **文献标志码:** A

Drop Simulation Based on Molded Pulp Cushion of Tablet PC

HUA Qi, HUANG Yingwei

(Faculty of Printing and Packaging Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: For a new collapsible one piece molded pulp cushion of tablet PC, this paper uses ANSYS/LS-DYNA to simulate based on physical drop test. Simulation results are found to be consistent with the buffer mechanism of molded pulp cushion and in conformity with the curve of physical drop test, whereby showing that the method of this paper is feasible and effective.

Key words: molded pulp cushion; tablet PC; drop simulation

近年来, 中国电子产品的出口额持续增长, 欧美国家颁布法令限制塑料包装的产品进口^[1]。纸浆模塑制品是较好的 EPS 替代材料, 符合国际包装工业材料的发展趋势。

如今的纸浆模塑生产厂家要判断纸浆模塑衬垫的缓冲性能是否满足要求, 就必须先开模压制出样品, 然后从客户手里取得产品做跌落测试。一旦测试不通过, 需要更改设计, 重新开模制得样品, 而后再进行测试。反复这个过程, 直至测试通过, 才能开始量产。

热压模具费用高、ABS 成型模具不易回收利用, 势必造成成本的增加与浪费。实物试验也无法获得连续的响应结果和变形, 这就导致了纸浆模塑生产企业在设计衬垫时往往凭借经验与猜测, 常常会造成用料过度或达不到缓冲要求。

现有研究多将纸浆模塑衬垫拆分成局部凸台结构或进行静力学分析, 但在实际流通过程中, 包装件主要承受的是动态载荷且纸浆模塑衬垫是作为一个整体来保护商品的, 除局部的凸台起到缓冲作用, 纸浆模塑衬垫还靠相继发生结构变形来延长力的作用

时间以达到缓冲目的。

本文依据纸浆模塑生产企业的实物跌落测试进行动态的跌落仿真, 降低了客户需提供电子产品的成本, 避免了初次生产出的纸浆模塑样品不合格时而必须反复进行的修模、改模、甚至重新开模的过程。不但降低了初期开发成本, 还大大缩短了开发周期, 避免了人力物力资源的浪费。为今后的纸浆模塑设计与跌落仿真提供了有效的方法和依据。

1 跌落仿真有限元模型的建立

1.1 实体模型的建立

本衬垫模型结构复杂且有装配结构(见图1), 故选择在 Pro/E 里建模, 通过 Pro/E 与 ANSYS 的专用接口导入 ANSYS 进行后续的分析。

首先在 Pro/E 里对模型进行处理, 以便 ANSYS 可以进行良好的网格划分与计算。根据圣维南原理以及纸浆模塑行业相关学者的研究, 需要将纸浆模塑衬垫的细小结构、沟槽以及圆角去掉, 避免出现网格划分失败或因网格形状不规则、过细造成运算过慢甚至计算不收敛的现象^[2]。同时将电脑看成规

收稿日期: 2013-09-03

作者简介: 华琪, 女, 硕士生, 主要研究方向为包装技术与设计。E-mail: huaqi1021@126.com。

黄颖为, 女, 教授, 主要研究方向为包装印刷质量控制与防伪。E-mail: huangyw12@163.com。

则的质量块。

因之后进行 ANSYS 分析选择的是薄壳单元,所以只需取衬垫的上表面,而不是 Pro/E 里的体结构。衬垫结构复杂,有很多凸台,固有众多下表面;且装配图中上下衬垫相互叠加,在 ANSYS 里极不易一一选取面。所以本文采用一些技巧,在上衬垫与下衬垫未抽壳前和电脑进行装配,而后在 ANSYS 里做只删除体和整个下表面的处理即可。处理后的模型如图 2 所示。

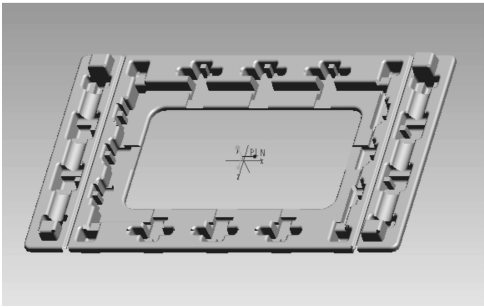


图 1 纸浆模塑衬垫
Fig. 1 Molded pulp cushion

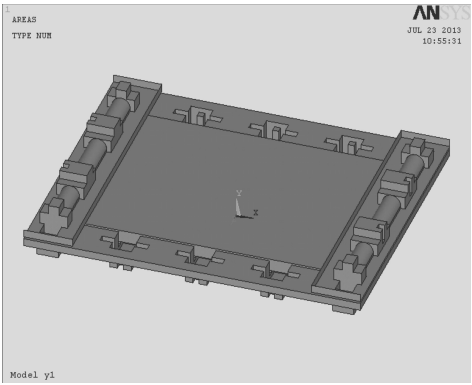


图 2 处理后的模型
Fig. 2 Processed model

1.2 有限元模型的建立

有限元建模与分析过程中需采用自封闭的单位制,即因 Pro/E 建模时选择 mmns (毫米-牛-秒)模板,则 ANSYS 分析中弹性模量和应力的单位采用 MPa,质量的单位采用 t,密度的单位采用 t/mm^3 。

1) 选择单元类型与定义实常数

SHELL163 是一个 4 节点显示结构的薄壳单元,有弯曲和膜的特征。该单元在每个节点上具有 12 个自由度,支持显示动力学分析所有非线性特征^[3]。纸浆模塑衬垫是典型的薄壳结构,固选择 SHELL163 单元,厚度在实常数中定义。因纸浆模塑材料各项同性且厚度均匀,所以只需在一个节点输入厚度即可。因之后分析上衬垫与下衬垫要生成

不同的 PART,虽然材料相同,但对于 SHELL163 单元需要定义两个相同的实常数。平板电脑选用 SOLID164 单元,它是用于三维的显式结构实体单元,由 8 节点构成,该单元没有实常数^[3]。

2) 定义材料模型

本次仿真模型使用了两种材料。在 ANSYS/LS-DYNA 显示动力学分析中,纸浆模塑材料选用经典的双线性随动硬化材料模型,电脑实体选用线弹性材料模型。材料模型参数及单位如表 1 所示。

表 1 材料模型参数

Tab. 1 Parameters of the material models				
模型	密度/ (t/mm^3)	弹性模 量/MPa	泊松 比	屈服极 限/MPa
纸浆模塑衬垫	4.03×10^{-10}	279.51	0.01	1.55
平板电脑	10.75×10^{-10}	27 000	0.32	

3) 生成有限元模型

在网格划分前,必须指定各几何模型的单元类型、实常数、材料属性^[4]。为最方便最有效指定属性,下衬垫是模型中最大的部分,所以先将纸浆模塑的属性指定给模型所有的面,再单独指定上衬垫的属性,最后指定电脑实体的属性。

分配属性后进行纸浆模塑衬垫的网格划分。为快速选择纸浆模塑衬垫上所有的面,通过选择体工具选择电脑上所有元素,再进行反向选择面完成。纸浆模塑衬垫形状结构复杂,为了形成大小基本一致的网格,定义全局单元尺寸,在 Element edge length 中输入 5,进行面网格自由划分。电脑实体形状规整,进行映射体网格划分,单元尺寸边长设置为 30。最终生成的有限元模型如图 3 所示。

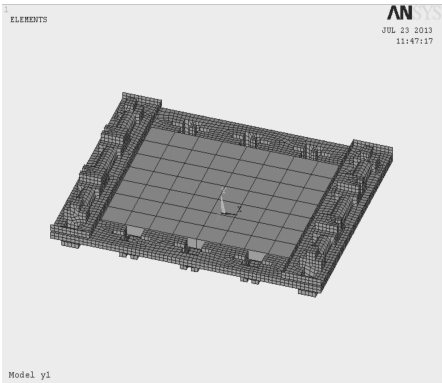


图 3 有限元模型
Fig. 3 Finite element model

2 创建 PART 与定义接触

在定义各部分接触之前首先要创建 PART。确

认所有实体均被选择后,通过 Main Menu > Preprocessor > LS-DYNA Options > Parts Options 选择 Create all parts 选项,系统会自动弹出模型中各实体与 PART 号、材料模型号、单元类型号、实常数号之间的对应关系(见图 4)。其中,PART1 为下衬垫部分,PART2 为上衬垫部分,PART3 为平板电脑部分。

本次仿真有三组接触,即上衬垫与电脑、下衬垫与电脑、上下衬垫之间的接触。普通接触在计算接触力时不考虑接触厚度,自动接触则相反。在接触分析中,由于问题的复杂性,应尽量使用自动接触,不需要人工干预接触方向^[5]。所以本文选择 ASTS 面面自动接触类型,接触参数设置见图 5。

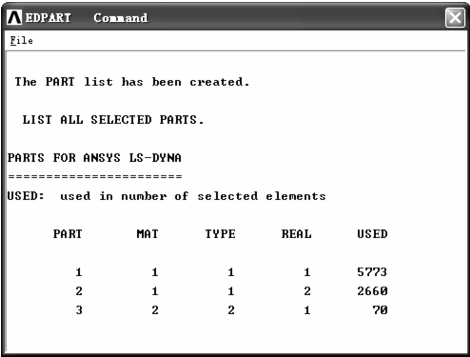


图 4 创建 PART
Fig. 4 Creating PART

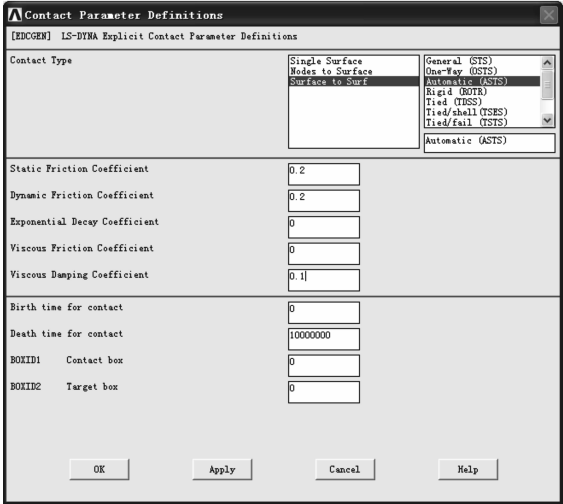


图 5 接触参数设置
Fig. 5 Set contact parameters

3 跌落测试分析参数的设置

在 ANSYS/LS-DYNA 中提供了跌落测试的程序模块,即 Drop Test Module (DTM),使用此模块可以非常快捷地进行跌落测试分析。

首先设置跌落测试的基本参数。选择 Main Menu > Drop Test > Set up 命令,在 Basic 选项卡中设置(见图 6)。

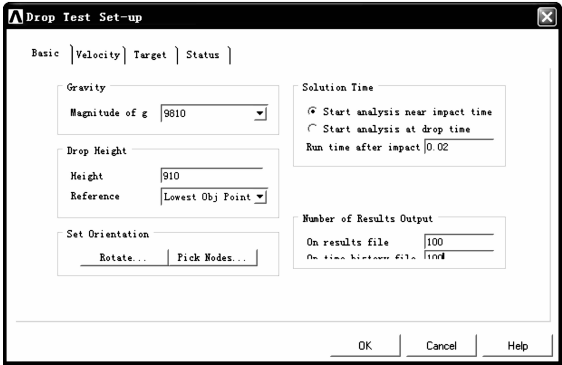


图 6 跌落基本参数的设置
Fig. 6 Set basic parameters of drop test

重力加速度根据本文自封闭单位制选择 9 810 (单位为 mm/s²)。跌落高度根据实物包装跌落试验设置为 910(单位为 mm)。在 Reference 列表中根据实物试验选择上述高度参考点的位置为 Lowest Obj Point,即对象的最小竖向坐标点。然后通过 Set Orientation 里的 Rotate,并根据面跌落方向进行测试物体的定位。在 Solution Time 中选择 Start analysis near impact time,即选择接近与刚性平面碰撞时刻开始求解计算,这样可以缩短分析时间。并在 Run time after impact 中输入 0.02,来保证物体与平面碰撞后程序还要继续计算的时间。设置结果文件输出步数 On results file 和时间历程文件的输出步数 On time history file 均为 100。

因包装件是在静止状态下跌落,跌落初始时刻初速度与角速度均为 0,所以采用默认值,无需设置。

选择 Target 标签后,程序会自动创建一个跌落目标面。

根据实物跌落试验的跌落方位,在 Center target using 中设置目标面的中心位置为 Object CG 的下方。在材料特性 Material Properties 中设置刚性目标面的弹性模量为 200 000,密度为 7.8 × 10⁻⁶,泊松比为 0.2。

在接触特性 Contact 栏中定义被测物体与刚性目标面之间的静动摩擦因数均为 0.2。

跌落参数设置完成后,通过选择 Status 标签显示程序检查的一个摘要,程序检查无误后执行 Solve 命令进行跌落测试分析的求解。整个跌落模型如图 7 所示。

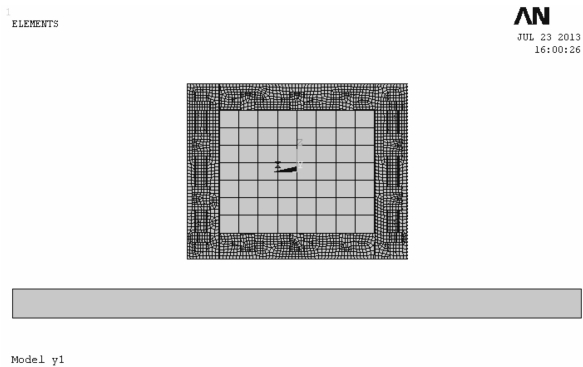


图7 跌落模型
Fig.7 Drop test model

4 仿真结果的查看与分析

仿真计算完成后,需要进行后处理,即观察和分析数值计算的结果。通过对计算结果的分析 and 评价,不仅可以检查所采用模型的合理性,而且可为纸浆膜塑衬垫的设计提供有效的依据。本文首先通过DTM 模块里的 Animate Results 生成动画,可观察到模型的整个跌落过程不同时刻的等效应力云图和位移变化情况。然后使用 POST1 后处理器选择某个子步来查看特定时刻的模拟计算结果,并通过选择工具单独观察模型中某一部件的状态。

如图8所示,时刻1为整个模型与刚性目标面发生初始接触时的等效应力云图,时刻2时纸浆模塑衬垫下方的凸台开始相继发生变形,待到时刻3时,冲击力已由纸浆模塑衬垫逐渐传递给电脑。这三个时刻的应力云图验证了纸浆模塑是利用受力后的结构变形吸收外界能量以及靠相继发生变形来延长力的作用时间以达到缓冲作用的。

通过选择工具单独选取平板电脑部分生成应力动画,可以看出平板电脑在整个跌落过程中承受的最大应力为2.143 MPa,此时应力云图如图9所示。

整个模型跌落过程中等效应力最大值为9.389 MPa,可观察到最大应力发生在纸浆模塑衬垫上,而此时时刻电脑等效应力的最大值只有0.386 659 MPa(见图10),可判定纸浆模塑衬垫起到了良好的缓冲作用。其次,本文还查看了模型的加速度时间历程曲线。DTM 自带的后处理器可以自动识别整个模型的最低点以及重心点绘制出加速度时间历程曲线(见图11)。

可以看出模型最低点的G 值远远大于重心点处的G 值,可见纸浆模塑衬垫起到了良好的缓冲保护作用。为更好地观察平板电脑的G 值,进入时间历程后处理器,选择实物试验时贴附加速规的位置

绘制此点的加速度时间历程曲线(见图12)。并可通过变量观察器读取最大加速度值为 $1.179\ 91 \times 10^6\text{ mm/s}^2$,即G 值为120.28。将此曲线与实物的跌落试验曲线进行对比,实物跌落试验图中峰值最大的一条曲线为该面在此次跌落方向的加速度时间历程曲线(图13)。可以看出模拟得到的曲线与实物的跌落测试曲线趋势大体一致,波形相似。

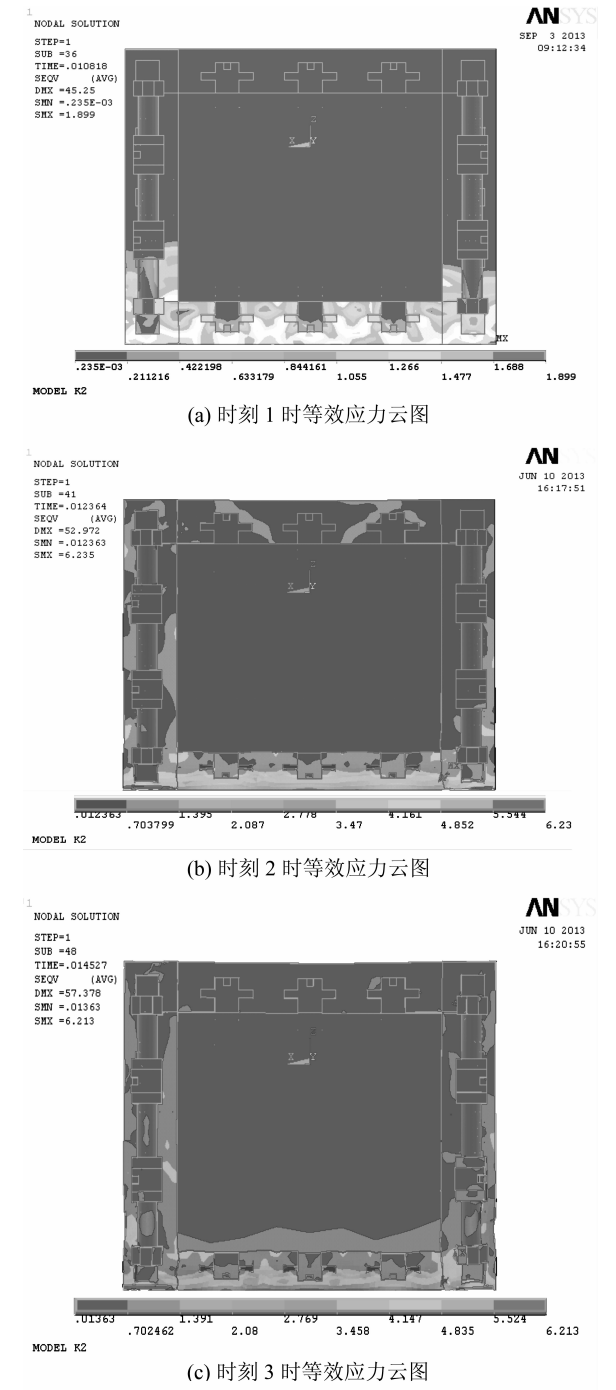


图8 跌落过程中不同时刻的等效应力云图
Fig.8 The von Mises stress distribution at different time in the drop test

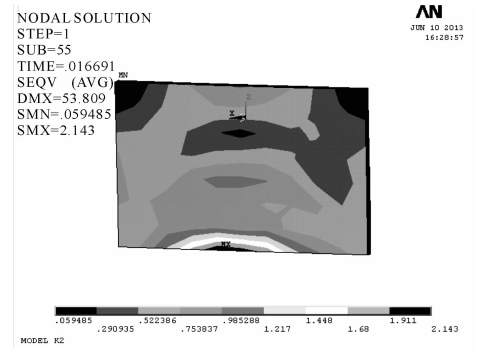
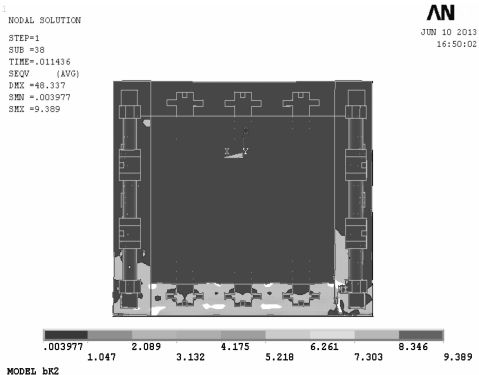
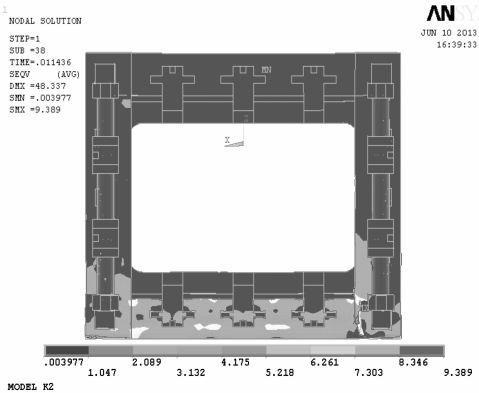


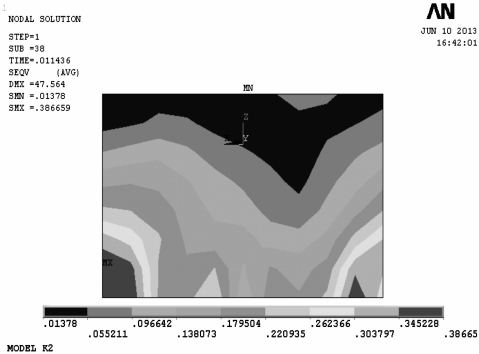
图 9 平板电脑受力最大时的等效应力云图
Fig. 9 The von Mises stress distribution of PAD at the time of maximum force



(a) 整个模型应力最大时的等效应力云图



(b) 整个模型应力最大时纸浆模塑衬垫的等效应力云图



(c) 整个模型应力最大时平板电脑的等效应力云图

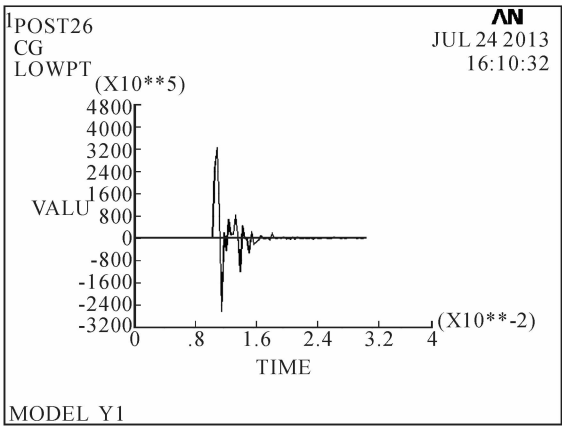


图 11 模型重心与最低点的加速度-时间曲线
Fig. 11 Acceleration-time curves of barycenter and lowest model point

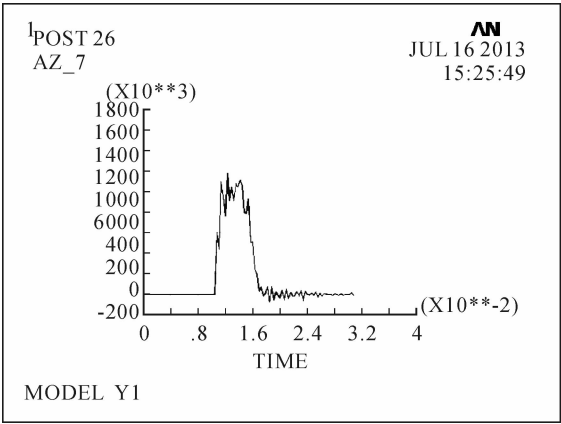


图 12 贴附加速规点的加速度-时间曲线
Fig. 12 Acceleration-time curve of the point attached with accelerometer

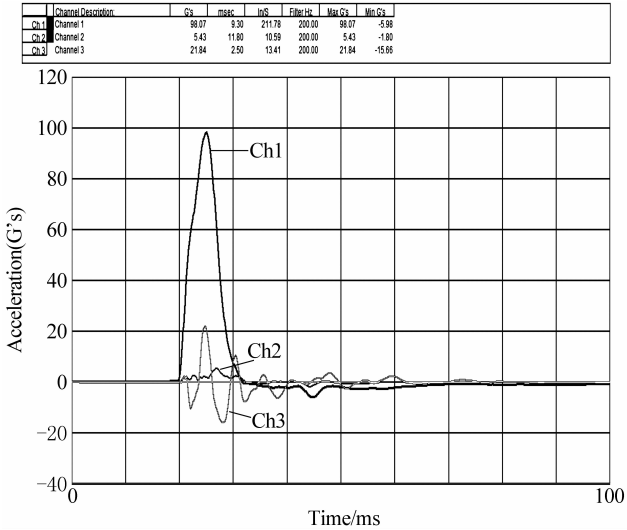


图 13 实物跌落测试曲线
Fig. 13 The curve of physical drop test

模拟得到的 G 值为 120.28, 与该面此次实物跌

图 10 整个模型应力最大时各部件的等效应力云图
Fig. 10 The von Mises stress distribution of every part at the time of the whole model's maximum stress

落试验所得的 G 值 98.07 存在差距,主要是由于忽略外部瓦楞纸箱所致。

有研究表明,在不考虑外部纸箱时,某产品的最大加速度为 $92.4g$,在考虑外包装箱时为 $55.4g^{[6]}$ 。且在模拟仿真时,对纸浆模塑衬垫和电脑进行了一定程度的简化,也会对计算结果产生影响^[7]。

但综合来看,利用 ANSYS/LS-DYNA 进行跌落仿真可为纸浆模塑设计提供有效的依据。实物试验时,还进行了其他面的跌落。因建模与分析方法一致,只是跌落测试的定位角度不同,本文不再一一赘述。

5 结 论

本文依据纸浆模塑行业的包装跌落测试,采用 ANSYS/LS-DYNA 软件进行跌落仿真。

通过查看跌落不同时刻的仿真结果,验证了纸浆模塑衬垫的缓冲机理,即纸浆模塑是利用受力后的结构变形吸收外界能量以及靠相继发生变形来延长力的作用时间以起到缓冲的作用。并通过选择工具单独查看平板电脑与纸浆模塑衬垫的受力状况,证明纸浆模塑衬垫对内装物可以起到有效的保护作用。

选取贴附加速规的位置查看此点加速度时间历程曲线,与实物的跌落测试曲线进行对比,曲线相吻合,表明了本文方法可行且有效。

参考文献:

[1] 葛少峰. 新型环保包装材料纸浆模塑的前景[J]. 上海包装, 2011, (3): 29.
Ge Shaofeng. Prospect of new environmental protection packaging material molded pulp[J]. Shanghai Packaging, 2011, (3): 29.

[2] 朱立学. 基于游戏机产品的纸浆模塑缓冲性能研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2012.
Zhu Lixue. Cushioning property research of molded pulp based on game console product [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2012.

[3] 尚晓江, 苏建宇, 王化锋, 等. ANSYS/LS-DYNA 动力分析方法与工程实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.

[4] 邓凡平. ANSYS 12 有限元分析自学手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.

[5] 王泽鹏, 胡仁喜, 康士廷, 等. ANSYS 13.0/LS-DYNA 非线性有限元分析实例指导教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.

[6] 杨延梅, 朱大鹏. 运输包装学[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2010.

[7] 宋姝妹. 组合式纸浆模塑结构的缓冲性能及其计算机模拟[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
Song Shumo. Research on cushioning property and computer simulation of combined molded pulp structure [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.

(责任编辑 王卫勋)