

质量主体-EPS 泡沫-瓦楞纸板缓冲系统的有限元设计

葛露

(郑州航空工业管理学院, 郑州 450000)

摘要: **目的** 为了简化复杂缓冲包装设计, 拟建立质量主体-EPS 泡沫-瓦楞纸板有限元模型。**方法** 利用 EPS 泡沫宏观等效可压缩本构模型, 同时采用瓦楞纸板薄壁壳结构, 对复杂缓冲系统进行有限元计算。**结果** 得到了符合实际的层状缓冲结构的变形及质量主体的加速度脉冲。**结论** 该方法丰富了包装动力学的缓冲包装设计方法。

关键词: EPS 泡沫; 瓦楞纸板; 有限元分析

中图分类号: TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)17-0139-04

Finite Element Design of Cushioning System for Mass-EPS Foam-Corrugated Board

GE Lu

(Zhengzhou University of Aeronautics, Zhengzhou 450000, China)

ABSTRACT: The work aims to propose to establish the finite element model for the mass-EPS foam-corrugated board, in order to simplify the design of the complicated cushion packaging system. The constitutive model could be compressed with the macroscopically equivalent EPS foam, and the finite element calculation of the complicated cushioning system was done with the thin-walled shell structure of the corrugated board. The deformation of the laminated cushion structure that met the physical situation and the acceleration pulse of the mass were obtained. Such method enriches the method used to design the cushion packaging structure based on the packaging dynamics.

KEY WORDS: EPS foam; corrugated board; finite element analysis

在诸多缓冲包装材料中^[1-4], 瓦楞纸板使用得最多、最普遍。由于受单层瓦楞纸板厚度的限制, 瓦楞纸板呈现出了较差的缓冲性能, 但通过增加层数可解决这个弊端。卢富德研究了由多层瓦楞纸板组成的瓦楞结构的缓冲性能, 并给出了相应的求解方法^[5-7], 瓦楞纸板作为单独的缓冲材料就不受厚度的约束。

在相关的研究中, 文献[8]研究了蜂窝纸板与泡沫组合缓冲系统的动力学性能。鉴于此, 这里进行瓦楞纸板与泡沫系统的有限元分析, 为考虑瓦楞纸板箱的缓冲作用的泡沫系统设计提供计算依据。

1 瓦楞纸板-泡沫缓冲系统有限元模型

创建4个部件, 分别为重物、EPS泡沫块、瓦楞纸板、刚性地面, 系统模型见图1。重物采用三维离散刚性拉伸实体, 尺寸为0.12 m×0.12 m×0.01 m; 泡

沫板采用三维可变形拉伸实体, 尺寸为0.09 m×0.04 m×0.04 m; 瓦楞纸板采用三维可变形拉伸实体, 楞高5 mm, 楞宽9.425 mm; 刚性地面采用三维离散刚体平面壳^[9]。

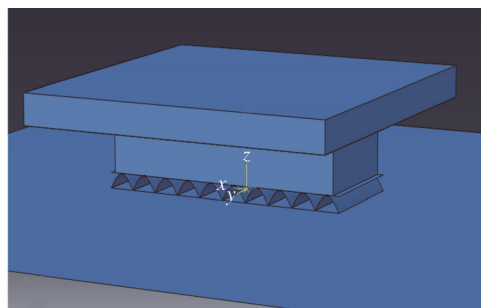


图1 瓦楞纸板-泡沫缓冲系统的模型

Fig.1 The model of the corrugated cardboard foam cushioning system

收稿日期: 2016-12-07

作者简介: 葛露(1978—), 女, 郑州航空工业管理学院副教授, 主要研究方向为产品设计。

EPS 泡沫弹性模量为 60 MPa, 泊松比为 0, 密度为 28 kg/m³; 瓦楞纸板弹性模量为 1000 MPa, 泊松比为 0.119, 密度为 600 kg/m³。进行相应的定义, 见图 2^[4,10-15], 对可挤压泡沫模型, 其硬化规律按图 2 中的数据输入。

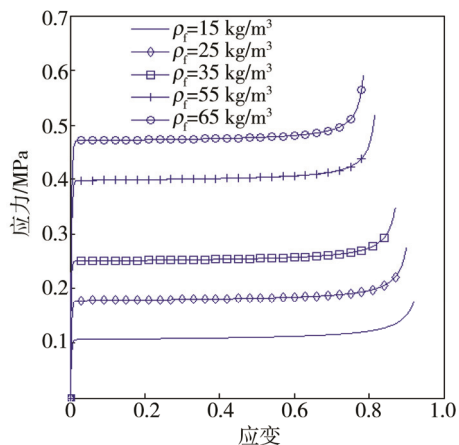


图 2 EPS 泡沫材料密度不同时系统的屈服应力-塑性应变数据

Fig.2 EPS foam yield stress-plastic strain data

在 Interaction 模块中, 定义接触相互作用属性并命名, 指定无摩擦, 接受所有其他的默认选择。对瓦楞结构定义自接触, 以防止在计算中出现穿透现象。整体装配网格见图 3。

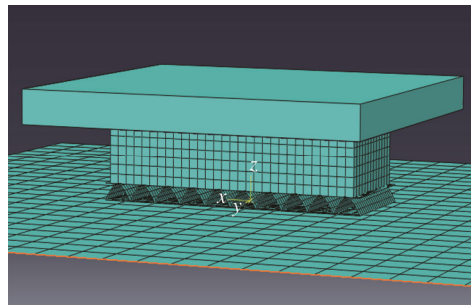
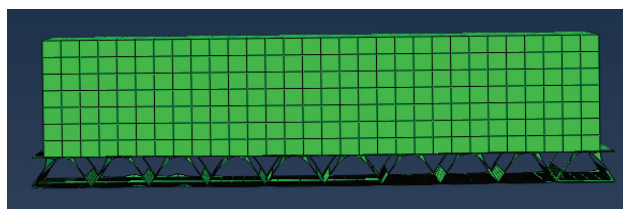


图 3 整体装配网格

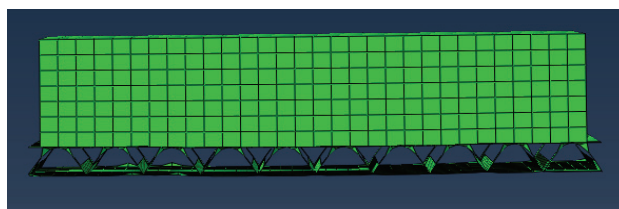
Fig.3 Integral assembly grid

2 结果与讨论

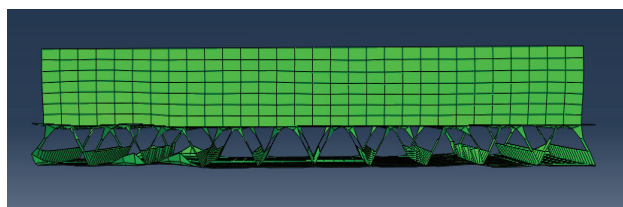
将 EPS 泡沫与蜂窝纸板固定在一起, 用质量为 10 kg 的重物对其施压, 并给它一个 2 m/s 的向下初速度, 进行有限元分析, 缓冲系统在不同时刻对应的压缩效果见图 4, 得出的加速度-时间曲线见图 5。



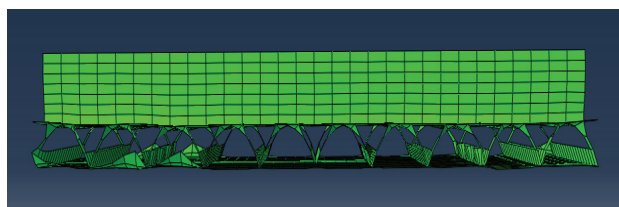
a 0.15 ms



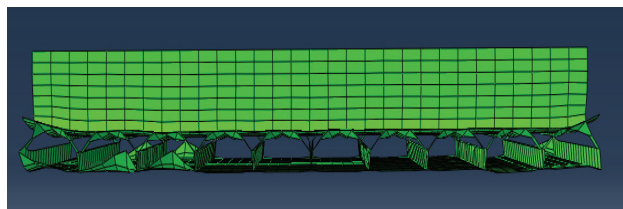
b 0.3 ms



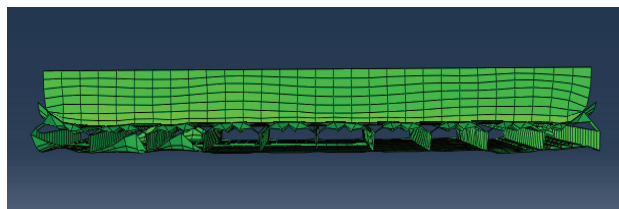
c 6 ms



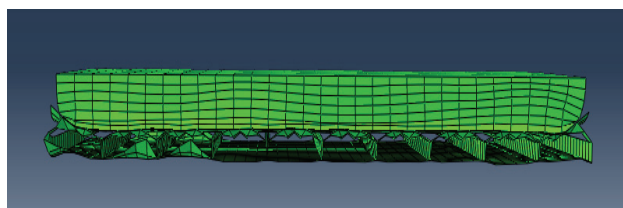
d 7.2 ms



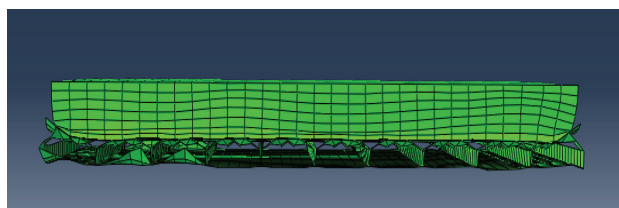
e 8 ms



f 11 ms



g 13 ms



h 15 ms

图 4 缓冲系统在不同时刻对应的压缩效果

Fig.4 The compression effect of the buffer system at different times

由图4可知,在0.15 ms时,缓冲系统并未发生明显的变化;在0.3 ms时,瓦楞纸板底部开始出现翘起的褶皱,与图4a相比,EPS泡沫上端开始压缩,产生了上端形变;在6 ms时,瓦楞纸板上层面纸开始压缩,产生上端形变,EPS泡沫在0.3~6 ms时间内形变均匀,处于平缓期;在7.2 ms时,缓冲系统与6 ms时相仿,并没有太大的变化;在8 ms时,EPS泡沫与瓦楞纸板均产生了进一步的压缩,与6 ms时相比,缓冲系统的变形较为明显;在11 ms时,EPS泡沫变形度过平缓期,又开始了进一步的加速变形;在13 ms时,缓冲系统已经快到完全压缩的边界,但还未达到该边界,变形量与0.15 ms时相比得到十分明显的增大;在15 ms时,得到缓冲系统最终压缩后的效果,缓冲系统被最终压溃,压缩过程结束。

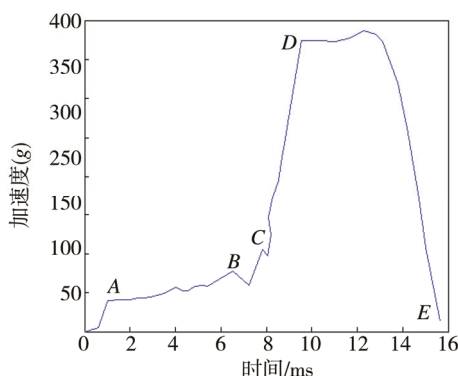


图5 缓冲系统加速度-时间曲线

Fig.5 Acceleration-time curve of cushioning system

由图5可知,A点所示缓冲系统在0.75 ms时,重物的临界加速度降至最小,之后加速度开始平缓变大;B点所示缓冲系统在6.7 ms时,重物临界加速度再次降至最小,之后加速度迅速增大;C点所示缓冲系统在7.8 ms时,缓冲系统变形量到达一定程度,重物加速度开始小幅度降低;D点所示蜂窝纸板在13 ms时,重物到达新的最高临界加速度,之后加速度开始平缓下降;E点所示蜂窝纸板在15 ms时,模拟试验设置的压缩过程结束,预计在16 ms时加速度降为0。

3 结语

创建了瓦楞纸板-泡沫缓冲系统的有限元模型,利用泡沫宏观可压缩模型以及瓦楞三维壳单元,得到了复合缓冲系统的动力学性能及变形模式,为考虑瓦楞纸板箱的缓冲作用的泡沫系统设计提供了计算依据。

参考文献:

[1] 卢富德,高德. C 楞瓦楞纸板动态缓冲模型及应用

[J]. 功能材料, 2012, 43(1): 39—41.

LU Fu-de, GAO De. Cushion Model and Its Application of C-flute Corrugated Paperboard[J]. Journal of Functional materials, 2012, 43(1): 39—41.

[2] 张宇,王志伟. 蜂窝纸板动态缓冲特性的实验研究[J]. 包装学报, 2012, 4(1): 9—12.

ZHANG Yu, WANG Zhi-wei. Experimental Research on Dynamic Cushioning Properties of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Journal, 2012, 4(1): 9—12.

[3] 曾克俭,刘珊. 蜂窝纸板动态缓冲性能分析研究[J]. 包装工程, 2014, 35(17): 15—18.

ZENG Ke-jian, LIU Shan. Analysis on Dynamic Cushioning Property of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(17): 15—18.

[4] 王冬梅,王志伟. 纸蜂窝压缩密实化应变评估[J]. 机械工程学报, 2009, 45(5): 285—289.

WANG Dong-mei, WANG Zhi-wei. Evaluation of Compressive Densification Strain of Paper Honeycombs[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(5): 285—289.

[5] TUCKER M T, HORSTEMEYER M F, WHITTINGTON W R, et al. The Effect of Varying Strain Rates and Stress States on the Plasticity, Damage, and Fracture of Aluminum Alloys[J]. Mechanics of Materials, 2010, 42(10): 895—907.

[6] 张连文,冯冰冰,程金茹,等. 双面国家 A 级高强度 AB 楞纸板边压和耐破强度试验研究[J]. 包装与食品机械, 2015, 33(5): 5—8.

ZHANG Lian-wen, FENG Bing-bing, CHENG Jin-ru, et al. Research on Edgewise Crush Resistance and Bursting Strength Tests of Double-sided National A Level High Strength AB Corrugated Paperboard[J]. Packaging and Food Machinery, 2015, 33(5): 5—8.

[7] 卢富德,陶伟明,高德. 串联缓冲结构压缩响应虚拟质量分析[J]. 浙江大学学报, 2012, 46(8): 1431—1436.

LU Fu-de, TAO Wei-ming, GAO De. Compression Responses of Series Cushioning Structures by a Virtual Mass Method[J]. Journal of Zhejiang University, 2012, 46(8): 1431—1436.

[8] 张绍云,储火,卢富德,等. 蜂窝-泡沫缓冲系统动力学有限元分析[J]. 振动与冲击, 2014, 32(2): 52—54.

ZHANG Shao-yun, CHU Huo, LU Fu-de, et al. Finite Element Analysis for Dynamic Response of Cushioning System Made out of Honeycomb Paperboard and Foam[J]. Journal of Vibration and Shock, 2014, 32(2): 52—54.

[9] 卢富德,高德. 植物纤维餐具碗在运输包装环境抗冲击行为有限元分析[J]. 振动与冲击, 2015, 34(6): 137—139.

LU Fu-de, GAO De. Finite Element Analysis for Anti-impact Behavior of Biodegradable Plant Fibre Bowls with Foam Cushioning Packaging[J]. Journal of Vibration and Shock, 2015, 34(6): 137—139.

- [10] LU Fu-de, LIU X J, GAO De. Compression Response of Composite Cushioning Materials in Series by Virtual Parameter Methods[J]. Packaging Technology and Science, 2015, 28(10): 901—914.
- [11] LU Fu-de, GAO De. Quasi-static and Impact Responses of Multi-layered Corrugated Paperboard Cushion by Virtual Mass Method[J]. Packaging Technology and Science, 2014, 27(11): 867—881.
- [12] LU Fu-de, TAO Wei-min, GAO De. Virtual Mass Method for Solution of Dynamic Response of Composite Cushion Packaging System[J]. Packaging Technology and Science, 2013, 26(1): 32—42.
- [13] 吕广庆, 王志伟. 产品-包装-运载体系统动态特性研究[J]. 包装工程, 2006, 27(1): 115—118.
- LYU Guang-qing, WANG Zhi-wei. Investigation on Dynamic Characteristics of a Product-packaging-carrier System[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(1): 115—118.
- [14] WANG Zhi-wei, WANG Jun, ZHANG Yuan-biao, et al. Application of the Inverse Substructure Method in the Investigation of Dynamic Characteristics of Product Transport System[J]. Packaging Technology and Science, 2012, 25(6): 351—362.
- [15] 李光, 阮丽, 高德, 等. 非线性运输包装系统动力学建模研究进展[J]. 包装工程, 2015, 36(19): 1—6.
- LI Guang, RUAN Li, GAO De, et al. Research Progress of Dynamic Modeling of Nonlinear Transport Packaging System[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(19): 1—6.

《绿色印刷》特色栏目征稿函

绿色是世界各国普遍认同的, 不仅体现可持续发展理念、以人为本、先进科技水平, 也是实现节能减排与低碳经济的重要手段。绿色印刷的产业链主要包括绿色印刷材料、印刷图文设计、绿色制版工艺、绿色印刷工艺、绿色印后加工工艺、环保型印刷设备、印刷品废弃物回收与再生等。通过绿色印刷的实施, 可使包括材料、加工、应用和消费在内的整个供应链系统步入良性循环状态。大力发展绿色印刷、绿色包装, 是发展循环经济的本质要求, 是建立资源节约型社会、促进人与自然和谐发展的有力举措。

鉴于此, 本刊拟围绕“绿色印刷”这一主线, 作系列的专项报道。编辑部特邀请绿色印刷领域的专家为本栏目撰写稿件, 以期进一步提升本刊的学术质量和影响力。稿件以研究论文为主, 也可为综述性研究, 请通过网站投稿, 编辑部将快速处理并优先发表。

编辑部电话: 023-68792294 网址: www.packjour.com

《包装工程》编辑部