

白酒包装件跌落有限元分析与优化设计

刘艾¹, 赵英芹¹, 王玉龙¹, 刘坤宏²

(1. 武汉大学, 武汉 430079; 2. 四川省宜宾普什集团有限公司, 宜宾 644000)

摘要: **目的** 基于产品的基本参数和流通环境, 测试白酒包装件的缓冲性能, 并对其加以改进和优化。**方法** 通过 Pro/E 软件建立白酒瓶和白酒包装件模型, 在不同跌落方式和跌落高度下采用 Ansys/LS-DYNA 软件对其进行跌落仿真模拟实验。**结果** 得到了白酒和整体包装件在跌落冲击过程的应力-应变变化规律。**结论** 白酒瓶最易损坏部位分别在瓶肩和瓶身连接部位及瓶身和瓶底连接部位, 并对酒瓶、衬垫、包装件进行了优化设计。

关键词: 白酒瓶; Ansys/LS-DYNA; 跌落仿真; 优化设计

中图分类号: TB485.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2014)17-0022-05

Finite Element Analysis of Wine Bottle Drop and Optimal Design

LIU Ai¹, ZHAO Ying-qin¹, WANG Yu-long¹, LIU Kun-hong²

(1. Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. Sichuan Yibin Pushtun Group Co., Ltd., Yibin 644000, China)

ABSTRACT: Objective To obtain the cushioning property of wine package based on the parameters and circulation environment of the product, and then improve and optimize it. **Methods** Models of wine bottle and wine package were established by Pro/E, in both cases, drop impact simulation comparative analyses of different way and drop height were conducted by software of Ansys/LS-DYNA. **Results** The changing rule of stress-strain about the wine bottle and the whole package in the process of impact was obtained. **Conclusion** The most easily damaged places of wine bottle were the shoulder and bottom as revealed by the simulation experiment. Optimal design of wine bottle, cushion and package was accomplished.

KEY WORDS: wine bottle; Ansys/LS-DYNA; drop simulation; optimal design

在物流运输过程中, 跌落和冲击是造成包装件破损和白酒泄露的重要原因^[1]。目前, 技术人员主要依据工程经验或通过反复的跌落和冲击试验来对白酒进行缓冲包装设计^[2-3], 这既耗费了人力、物力和大量时间, 又增加了成本。文中通过有限元仿真软件 Ansys/LS-DYNA 对白酒瓶和包装件在各种跌落方式下的跌落过程进行仿真模拟, 获得产品的跌落冲击响应^[4], 并对酒瓶的应力分布云图进行分析, 找出瓶子在跌落过程中瓶身出现应力最大的部分, 从而指导优化酒瓶和整个包装件的设计。

1 有限元建模

1.1 有限元法

有限元分析法是将一个物体看作有限个单元的组合物体, 通过对单元进行模拟, 得到单元在载荷下的响应, 所有单元响应之和就是整体响应的描述^[5]。有限元分析包括前处理、计算求解、后处理等 3 个阶段。Ansys/LS-DYNA 软件将 Ansys 出色的前后处理模块和

收稿日期: 2014-04-07

作者简介: 刘艾(1993—), 女, 湖北人, 武汉大学本科生, 主攻运输包装。

通讯作者: 王玉龙(1965—), 男, 江苏人, 硕士, 武汉大学副教授, 主要研究方向为运输包装、包装结构设计。

LS-DYNA 的显式积分动力分析功能结合在一起,尤其适合非线性瞬态动力的响应分析^[6-7],能对计算结果进行可视化处理、分析、评价,并形成分析报告。

1.2 白酒瓶和包装件有限元建模

选取某品牌酒瓶,利用 Pro/E 对白酒瓶和包装件进行建模(见图1),然后导入 Ansys 中。包装件包括上下衬垫、白酒瓶和外包装 PET 聚酯盒等3个部分,玻璃瓶、PET 聚酯盒选用壳单元 shell163,白酒和缓冲垫选用实体单元 solid164,定义玻璃瓶的剪切因子为 5/6,壳厚为 2 mm,积分点数为 3^[8-9]。分别用 Viscoelastic, Fluid, Bilinear kinematic hardening 和 Rigid 材料模型来描述玻璃、白酒、PET 和缓冲垫、目标地面,定义密度、弹性模量、泊松比等参数^[10]。选取 PET 包装盒的弹性模量为 2 GPa,密度为 1380 kg/m³,泊松比为 0.445。取缓冲衬垫的弹性模量为 17.2 GPa,密度为 1710 kg/m³,泊松比为 0.35。对酒瓶以及白酒进行网格划分,得到整个有限元模型见图2。

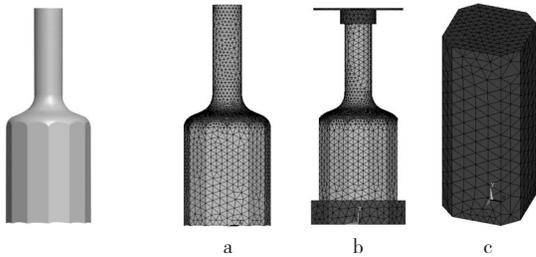


图1 白酒瓶模型 图2 白酒瓶和包装件有限元模型
Fig.1 Wine bottle model Fig.2 Finite element model of wine bottle and package

2 基于 Ansys/LS-DYNA 的酒瓶和包装件跌落有限元分析

对于质量较轻的包装件(小于 9 kg),装卸搬运方式多为一手抛掷,其跌落高度一般不会超过 1.07 m。文中白酒包装件系统的质量较轻,其跌落高度为 0~1.07 m,由此跌落高度选择为 1 m。白酒瓶和包装件的跌落参数设置为:跌落高度为 1 m,求解时间为在冲击将要开始时,冲击结束后分析运行时间设为 0.03 s,输出文件步数为 100^[11]。

2.1 白酒瓶在不同跌落方式下的冲击响应

选取白酒瓶在流通过程中 3 种典型的跌落状态:

竖直跌落、水平跌落、角跌落。其中,角跌落时,酒瓶轴线与垂直线的夹角为 30°^[8,12]。装满酒的酒瓶在 3 种跌落状态下接触地面应力达到最大时的应力云图见图3,最大应力及其产生的位置见表 1。

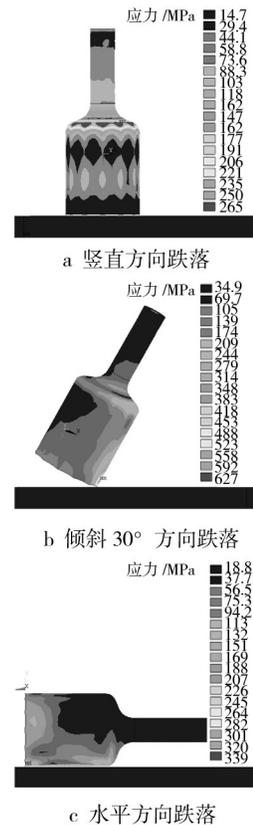


图3 酒瓶在不同跌落方向跌落触地瞬间的应力云图

Fig.3 Changing stress of the wine bottle when dropped onto the ground from different directions

表 1 3 种方式跌落触地时最大应力值分布

Tab.1 Maximum stress distribution of 3 dropping manners

工况	最大应力/MPa	最大应力位置
竖直跌落	265	瓶肩与瓶身的过渡圆周上
角跌落	627	瓶与地面接触点上
水平跌落	339	瓶与地面接触面上

由图3和表1可以看出,角跌落时最大应力最大,竖直跌落时最小;角跌落和水平跌落时,应力分布从接触点和接触面向上扩散,逐渐减小;在跌落过程中,瓶肩与瓶身、瓶身与瓶底连接处的应力较大,需要包装防护或结构优化。

白酒瓶在不同跌落方向的应力响应见图4。由图4可以得出,角跌落和水平跌落产生最大应力后,应力在较小值附近衰减,竖直跌落的应力值一直在最大应

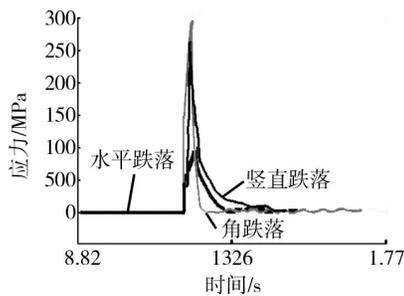


图4 白酒瓶在不同跌落方向的应力响应

Fig. 4 Stress response of wine bottle from different drop direction

力值附近震荡衰减,说明竖直跌落比其他2种跌落方式情况更加严酷。

2.2 包装件在不同跌落方式下的冲击响应

选取3种典型的跌落方式对白酒瓶包装件进行模拟,得到包装件跌落过程中白酒瓶最大应力分布情况(见表2)以及包装件的冲击响应(见图5)。

表2 包装件在各种工况跌落下的最大应力分布

Tab.2 Maximum stress distribution of package in 3 dropping manners

工况	最大应力/MPa	最大应力位置
竖直跌落	103	瓶肩与瓶身的过渡圆周上
30°角跌落	84.8	瓶与地面接触点
水平跌落	295	瓶肩与瓶身的过渡圆周上

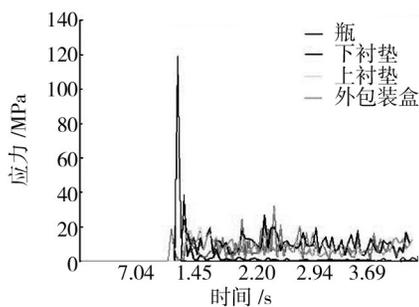


图5 白酒瓶在不同跌落方向的应力响应

Fig.5 Stress response of wine bottle from different drop direction

分析图5和表2可知,3种跌落状态下,水平跌落对酒瓶的损伤最大。无包装时白酒瓶所受的最大应力出现在瓶与地面的接触点上,有包装时最大应力在瓶肩与瓶身的过渡圆周上,其最大应力由339 MPa降低到295 MPa。这是因为上下2个衬垫将酒瓶固定之后,当酒瓶沿水平方向跌落时,在瓶肩处产生了剪切

应力,使得瓶肩处更加脆弱。

从图5可以看出,包装件跌落接触地面的瞬间,PET盒的速度突然从最大值变为零,此时包装系统产生一个相当大的冲击脉冲,此冲击系统从包装盒传递到衬垫,又从衬垫传递到白酒瓶。在这个传递过程中,包装盒和衬垫吸收了大部分的能量,酒瓶因此受到的加速度响应和应力幅值响应比包装件和衬垫大幅度减少,而且峰值出现时刻被延后。随后,由于阻尼的影响,应力从最大值回落并震荡衰减。

3 白酒包装优化设计

在模拟竖直跌落时,瓶肩处的应力最大。水平跌落时,有包装防护时酒瓶瓶肩处的应力也最大。由此,应主要以降低瓶肩应力的角度出发,进行优化设计。

3.1 白酒瓶的结构优化

原酒瓶的倾斜角 α 和圆弧半径 R 分别为 37° 和42 mm,不改变瓶肩部分高度和宽度 B ,改变倾斜角和瓶肩过渡圆弧半径(见图6)。

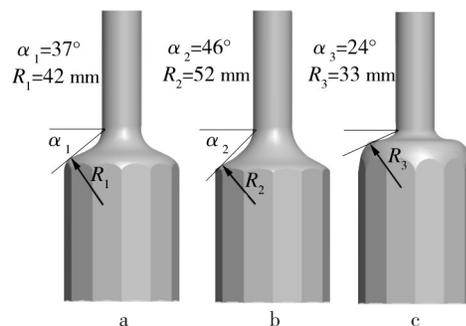


图6 不同的瓶肩形状尺寸

Fig.6 Dimensions of different bottle shoulder

分析表明,在相同的跌落条件下,不同瓶肩的酒瓶产生的冲击应力不同。原瓶肩的最大应力为186 MPa,改变后的最大应力分别为167 MPa和261 MPa,说明对瓶肩结构进行优化时,倾斜角和瓶肩圆弧过渡半径越大,瓶子的抗机械冲击强度越好。

3.2 衬垫和包装盒的优化设计

原包装在瓶底和瓶口处采用缓冲衬垫,瓶底衬垫可以有效减轻瓶底及瓶身的冲击应力^[13],但瓶口处的缓冲衬垫与瓶底一起,使瓶肩处产生了剪切应力,在水平跌落时,最大应力出现在瓶肩上^[14]。优化设计时,考虑

去掉瓶口的衬垫,在瓶肩处添加衬垫约束,见图7。

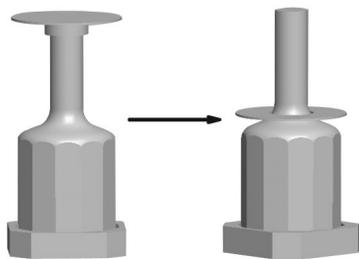


图7 衬垫的优化设计

Fig.7 Optimal design of cushion

研究表明,在相同的跌落条件下,竖直跌落和角跌落的最大应力及所在位置基本不变,水平跌落时最大应力位置虽然还在瓶肩与瓶身的过渡圆周上,但应力大小由 295 MPa 减小到 57 MPa,说明改变衬垫的位置有利于减小瓶肩应力,保护酒瓶。

关于包装盒的优化设计,对其结构尺寸作了 2 种形式的改变,见图 8。对于第 1 种情况,酒瓶在各种跌落方式下的最大应力分别为 80.9, 53.4, 283 MPa, 第 2 种情况下的最大应力为 79.7, 32.6, 246 MPa。相对于原来的 103, 84.8 和 295 MPa, 最大应力均有减少,且圆角的包装盒对酒瓶的包装起到了更好的保护作用。

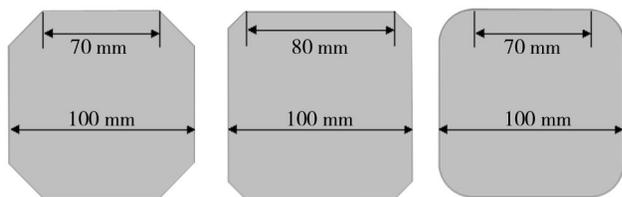


图8 包装盒结构尺寸

Fig.8 Structure dimensions of package

4 结语

通过跌落仿真分析,为白酒包装件结构优化提供了理论依据,节省了实验成本^[15],供设计者参考。

1) 白酒瓶在有包装防护和无包装防护时所受的最大应力一般集中在瓶肩与瓶身的过渡圆周上和瓶身与瓶底的过渡圆周上,在对酒瓶进行包装设计时应重点保护这 2 个部位。

2) 在 3 种不同的跌落方式下,竖直跌落对酒瓶的损害最严重,在装卸过程中应尽量避免。

3) 优化设计了白酒瓶及其包装件,从结构上对其进行了改进,减小了包装件在不同跌落方式下跌落所受的最大应力。

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, 2012.
PENG Guo-xun. Logistics and Transport Packaging Design [M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012.
- [2] 马国鹭. 长虹某型电视机的跌落仿真分析[J]. 噪声与振动控制, 2008, 20(6): 168—170.
MA Guo-lu. Drop Simulation Analysis of the Special Chang-hong TV[J]. Noise and Vibration Control, 2008, 20(6): 168—170.
- [3] 蔡丽娜, 王玉龙. 框架木箱有限元受力分析[J]. 包装工程, 2012, 33(17): 13—15.
CAI Li-na, WANG Yu-long. Finite Element Analysis to Stress of Wooden Framed Box[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17): 13—15.
- [4] 李杨, 陈曲. 基于 ANSYS 的打印机全瓦楞缓冲包装设计[J]. 包装学报, 2012, 4(2): 37—41.
LI Yang, CHEN Qu. Corrugated Cushioning Packaging Design of Printer Based on ANSYS[J]. Packaging Journal, 2012, 4(2): 37—41.
- [5] 郝好山, 胡仁喜, 康士廷. ANSYS 12.0 LS-DYNA 非线性有限元分析从入门到精髓[M]. 北京:机械工业出版社, 2010.
HAO Hao-shan, HU Ren-xi, KANG Shi-ting. LS-DYNA Nonlinear Finite Element Analysis of ANSYS 12.0 from Entry to the Essence[M]. Beijing: Mechanical Industry Publishing House, 2010.
- [6] MILLS N J, MASSO-MOREU Y. Finite Element Analysis (FEA) Applied to Polyethylene Foam Cushions in Package Drop Test[J]. Packaging Technology and Science, 2005, 18: 29—38.
- [7] 郭彦峰, 潘松年, 许文才. 缓冲包装系统计算机仿真的应用研究[J]. 包装工程, 2002, 23(4): 123—126.
GUO Yan-feng, PAN Song-nian, XU Wen-cai. The Research and Application of Computer Simulation in Cushioning Packaging System[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(4): 123—126.
- [8] 王振林. 基于 ANSYS 的啤酒瓶跌落仿真应力分析[J]. 包装工程, 2006, 27(4): 23—25.
WANG Zhen-lin. Drop Simulation Stress Analysis of Beer Bottles Based on ANSYS[J]. Packaging Engineering, 2006, 27

- (4):23—25.
- [9] WANG Y Y, LU C J, LI X M. Simulation of Drop Impact Reliability for Electronic Devices[J]. Finite Elements in Analysis and Design, 2005, 41:667—680.
- [10] JONGKOO H, JONG M P. Finite Element Analysis of Vent/Hand Hole Designs for Corrugated Fiberboard Boxes[J]. Packaging Technology and Science, 2007, 20:39—47.
- [11] 王鹤腾,高德,常江. 基于非线性有限元的瓦楞纸板静态压缩性能仿真研究[J]. 包装工程, 2006, 27(5):1—3.
WANG He-teng, GAO De, CHANG Jiang. The Simulation Research of Corrugated Board about the Static Compression Performance Based on the Nonlinear Finite Element[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(5):1—3.
- [12] BELDIE L, SANDBERG G, SANDBERG L. Paperboard Packages Exposed to Static Loads—finite Element Modeling and Experiments[J]. Packaging Technology and Science, 2001, 14(4):171—178.
- [13] 刘义翔,高德,刘晔. 基于ADAMS软件瓦楞纸板缓冲性能的动力学仿真研究[J]. 包装工程, 2002, 23(4):127—129.
LIU Yi-xiang, GAO De, LIU Ye. Dynamic Simulation Research of Corrugated Board Cushioning Performance Based on ADAMS Software[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(4):127—129.
- [14] LOW K H, WANG Y Q, HOON K H, et al. Initial Global-local Analysis for Drop-impact Effect Study of TV Products[J]. Advances in Engineering Software, 2004, 35:179—190.
- [15] JEONG W Y, GYUNG J P. Development of a Design System for EPS Cushioning Package of a Monitor Using Axiomatic Design[J]. Advances in Engineering Software, 2005 (36):273—284.
-
- (上接第21页)
- Paperboard Box[J]. Journal of Vibration Engineering, 2012, 25(3):335—341.
- [7] 高德, 卢富德. 聚乙烯缓冲材料多自由度跌落包装系统优化设计[J]. 振动与冲击, 2012, 31(3):69—72.
GAO De, LU Fu-de. Optimization Design of MDOF Package Cushioning System Made of Polyethylene[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(3):69—72.
- [8] LU Fu-de, GAO De. Impact Responses of Composite Cushioning System Considering Critical Component with Simply Supported Beam Type[J]. Advances in Mechanical Engineering, 2014(15):1—5.
- [9] GAO De, LU Fu-de, CHEN S J. Drop Impact Analysis of Cushioning System with an Elastic Critical Component of Cantilever Beam Type[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2013(37):1—5.
- [10] 卢富德,陶伟明,高德. 串联缓冲系统冲击响应与结构优化分析[J]. 浙江大学学报(工学版), 2012, 46(10):1773—1777.
LU Fu-de, TAO Wei-ming, GAO De. Impact Response of Series Cushioning System and Structure Optimization Analysis[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2012, 46(10):1773—1777.
- [11] 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(工学版), 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 (Engineering Science), 2012, 46(8):1431—1436.
- [12] 卢富德,张绍云,杜启祥. 发泡聚乙烯隔振性能研究[J]. 包装工程, 2011, 32(11):1—4.
LU Fu-de, ZHANG Shao-yun, DU Qi-xiang. Study of Vibration Isolation Performance of EPE[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(11):1—4.
- [13] ROUILLARD V, MICHAEL S E K. Creating Transport Vibration Simulation Profiles from Vehicle and Road Characteristics[J]. Packaging Technology and Science, 2013(26):82—95.
- [14] 沈黎明,张华良,顾祖莉. 运输包装件振动试验系统研究[J]. 中国测试技术, 2005, 31(6):87—89.
SHEN Li-ming, ZAHNG Hua-liang, GU Zu-li. Research on the Vibration Test System of Transport Package[J]. China Measurement Technology, 2005, 31(6):87—89.