

JG3 军用合成制动液运输包装跌落仿真分析

朱霞¹, 顾景喜¹, 陈俊斌¹, 陈永安², 武小琴¹

(1. 后勤工程学院, 重庆 400016; 2. 69051 部队, 新疆 833200)

摘要: **目的** 研究 JG3 军用合成制动液在不同厚度瓦楞纸箱运输包装情况下, 角跌落过程对包装箱内部制动液吹塑桶小包装应力、应变的影响。 **方法** 利用 ANSYS/LS-DYNA 软件, 对不同厚度瓦楞纸箱运输包装的 JG3 军用合成制动液进行角跌落仿真实验, 获取内部制动液吹塑桶小包装的有效应力及塑性应变数据, 分析不同运输包装条件下制动液吹塑桶小包装的应力、应变特点。 **结果** 随着瓦楞纸箱运输包装厚度的增大, 相同角跌落条件下, 包装箱内的制动液吹塑桶小包装总体应力、塑性应变变小; 在最厚的瓦楞纸箱包装条件下, 部分制动液吹塑桶小包装存在应力、塑性应变集中区域。 **结论** 瓦楞纸箱运输包装对内装物的保护作用并非瓦楞厚度越大越好。

关键词: 运输包装; 角跌落; 跌落仿真

中图分类号: TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)09-0064-05

Dropping Simulation Analysis of the Transport Package for JG3 Military Synthetic Brake Fluid

ZHU Xia¹, GU Jing-xi¹, CHEN Jun-bin¹, CHEN Yong-an², WU Xiao-qin¹

(1. Logistical Engineering University, Chongqing 400016, China; 2. Unit 69061, Xinjiang 833200, China)

ABSTRACT: The aim of this work was to study the effects of angle drop process on the stress and strain of JG3 Military Synthetic Brake Fluid small packages in the packaging box when using corrugated cartons with different thickness as transport package. ANSYS/LS-DYNA was applied to carry out angle drop simulation test for JG3 Military Synthetic Brake Fluid packaged using corrugated cartons with different thickness. The effective stress and plastic strain data of the brake fluid small packages in the packaging box were acquired, and the characteristics of stress and strain under different transport package conditions were analyzed. With the increasing thickness of the corrugated carton, under the same angle drop condition, the overall effective stress and plastic strain of the brake fluid small packages in the packaging box decreased. In the thickest corrugated cartons, there were effective stress and plastic strain focus areas for some brake fluid small packages. The protection of the corrugated cartons to the packaged interior part with no cushion materials was not linearly correlated with the thickness of the corrugated cartons.

KEY WORDS: transport package; angle drop; drop simulation

运输包装是保护产品在流通过程中避免损坏的有效手段。在流通过程中, 产品会受到振动、冲击^[1-2]等影响, 其中, 跌落冲击对产品造成的冲击较大, 容易超出产品固有脆值^[3-4]而使产品损坏, 因此生产厂家对产品运输包装的跌落试验比较重视。以具体实物为试验对象的跌落试验无法准确地了解运输包装内装物的详细运动情况, 只能通过观察跌落试验后产品的

损坏情况, 才能得知该运输包装是否较好地保护了内装物。同时, 实物试验需要大量的试验样品, 占用时间较多, 试验效率不高^[5]。如果运用仿真试验^[6-7]的方法, 可以清楚地看到跌落冲击对运输包装内装物的影响, 能够得知跌落过程中应力集中的地方在哪里, 便于对内装物和运输包装进行改进, 以提高运输包装的可靠性^[8-9]。为此, 利用 ANSYS/LS-DYNA 仿真软件,

收稿日期: 2015-01-04

作者简介: 朱霞(1963—), 女, 四川岳池人, 后勤工程学院教授, 主要研究方向为军物流包装。

对JG3军用合成制动液运输包装件进行跌落仿真分析^[10-11],获得了不同厚度瓦楞纸箱运输包装情况下,内装物吹塑桶所受到的冲击情况,对不同厚度瓦楞纸箱运输包装对内装物的保护情况进行了分析。这里所指的运输包装件,是指由瓦楞纸箱包装完好的JG3军用合成制动液。

1 LS-DYNA显式动力学分析简介

LS-DYNA 是世界上最著名的通用显式非线性动力分析程序,能够模拟各种复杂的大位移、大转动和大应变等问题。其应用领域非常广泛,主要有汽车工业、航空航天、建筑业、国防工业等。通过ANSYS/LS-DYNA 中提供的跌落测试模块DTM^[12],可以很方便地进行产品的跌落测试分析。

LS-DYNA 采用中心差分法求加速度的分析方程为^[13]:

$$\{a_i\}=[M]^{-1}([\mathbf{F}_{\text{ext}}]-[\mathbf{F}_{\text{int}}])$$
 (1)

式中:[**M**]⁻¹为结构质量矩阵或总质量矩阵的逆矩阵;**F**_{ext}为施加的外力和体力矢量;**F**_{int}为内力矢量,由式(2)构成。

$$\mathbf{F}_{\text{int}}=\sum\left(\int_{\Omega}\mathbf{B}^T\sigma_n\mathrm{d}\Omega+\mathbf{F}_{\text{hg}}\right)+\mathbf{F}_{\text{contact}}$$
 (2)

式中:**B**^T为应变位移矩阵或几何矩阵的转置;**σ**_{*n*}为单元体上的应力; $\int_{\Omega}\mathbf{B}^T\sigma_n\mathrm{d}\Omega$ 为当前时刻单元应力场等效节点力;**F**_{hg}为沙漏^[14]阻力(为克服单点高斯积分引起的沙漏问题而引入的黏性阻力);**F**_{contact}为接触力矢量。沙漏是指ANSYS/LS-DYNA 中实体单元、壳单元发生的高频振荡,这种振荡在物理上是不存在的,是由于数学计算导致的,可以采用细化网格或加入人工黏性来控制沙漏效应。

2 有限元仿真模型建立

在这里,主要利用ANSYS/LS-DYNA 软件进行实体建模,严格按照JG3军用合成制动液实际的运输包装规格建立实体模型。首先,根据JG3军用合成制动液吹塑桶小包装的实际外形尺寸,建立一个实体,而后删除实体内部体积部分,只保留实体外部的面,完成吹塑桶小包装实体建模,并采用壳单元shell 163模拟;然后建立单个制动液小包装实体模型,具体做法为:制动液小包装中的制动液部分采用solid 164 实体单元模拟,制动液的高度为实际高度,制动液上部空气由于密度较小,没有进行模拟;由于使用

ANSYS/LS-DYNA 中的跌落测试模块,必须确保材料密度和弹性模量不能为0,因此,设定制动液的弹性模量为10⁵ Pa,该弹性模量远小于吹塑桶材料的弹性模量,对外部吹塑桶的作用力较小,可以模拟制动液的实际状态;将制动液吹塑桶与制动液的实体模型结合在一起组成制动液小包装,将其按照矩形阵列方式复制为20个制动液小包装,摆放方式为4×5;最后根据JG3军用合成制动液运输包装件外包装瓦楞纸箱的实际规格,建立矩形实体模型,将其内部体积删除,保留外部6个面,完成瓦楞纸箱实体模型;采用壳单元shell163模拟,并将20个制动液小包装实体模型移动到瓦楞纸箱内部,组成JG3军用合成制动液运输包装件实体模型。各有限元实体模型材料参数见表1。

表1 材料参数
Tab.1 The parameters of sample material

材料名	弹性模量/MPa	泊松比	密度/(kg·m ⁻³)	屈服强度/MPa	厚度/mm
吹塑桶	1070	0.41	952	8.2	0.005
瓦楞纸箱	190	0.15	300	0.784	0.08
制动液	0.1	0.3	950	—	—

对建立好的实体模型划分网格,生成的吹塑桶单元为123号至22521号,共22399个壳单元;生成的制动液单元为22522号至40557号,共18036个实体单元;生成的瓦楞纸箱单元为40559号至41046号,共488个壳单元。将这3类单元集合生成3组part,在各part之间设定自动双面接触。制动液运输包装件的初始位置为x方向的棱与地面成45°角,y方向的棱与地面成45°角,五层瓦楞纸运输包装箱的底面位于下方。在DTM模块中设置跌落条件,加速度为9.81 m/s²,跌落高度为0.65 m^[15],跌落仿真运算时间设置为包装箱接触跌落目标面后0.08 s,跌落目标面设置为刚体。该刚体为1个实体单元,单独生成1个part。设置跌落过程中的静摩擦、动摩擦和指数衰减系数均为0.1。此时,制动液运输包装件有限元模型建立完成,可以进行求解计算。

3 仿真实验结果分析

3.1 模拟实际跌落工况

在实际跌落工况中,制动液运输包装为五层瓦楞纸箱包装,厚度为8 mm,与建立的有限元模型一致。利用LS-PrePost 软件对仿真分析结果进行后处理。制

动液运输包装件角跌落最后时刻0.0892 s时的有效应力见图1,可以看到制动液运输包装箱的应力变化比较连续,说明对运输包装件的网格划分比较合理,没有出现沙漏现象。对制动液瓦楞纸箱的塑性应变进行分析,得出五层瓦楞纸箱的最大塑性应变量为0.0274。

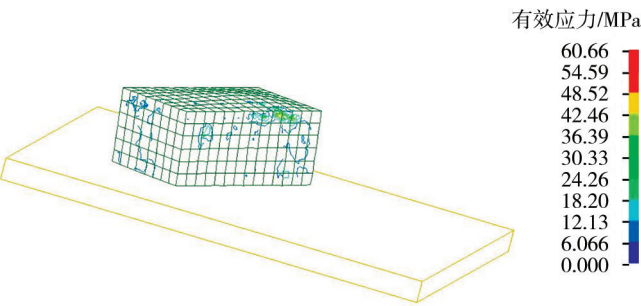


图1 制动液运输包装件角跌落瞬间
Fig.1 Angle drop of brake fluid transport package

利用LS-PrePost分析软件,记录下不同时刻吹塑桶单元有效应力极大值单元,将这些吹塑桶单元的有效应力绘制成有效应力-时间曲线,对于一些距离较近、有效应力比较相似的吹塑桶单元,只保留1个吹塑桶单元,这些经过选择后剩余的吹塑桶单元有效应力随时间变化的曲线见图2。其中,5000号单元位于跌落角附近吹塑桶的角部,17665号、12064号、18795号和16538号单元位于吹塑桶桶口与桶身相接处,20251号单元位于吹塑桶中上部突出部顶端。由此可见,在跌落过程中,吹塑桶桶口与桶身的结合处和吹塑桶中上部突出部顶端是有效应力比较集中的部位,这与该制动液小包装在运输过程中损坏的部位比较接近,因此,生产厂家应注意对吹塑桶该2个部位进行强化,从而减少运输过程中的损失。该制动液小包装在运输中损坏的部位见图3。

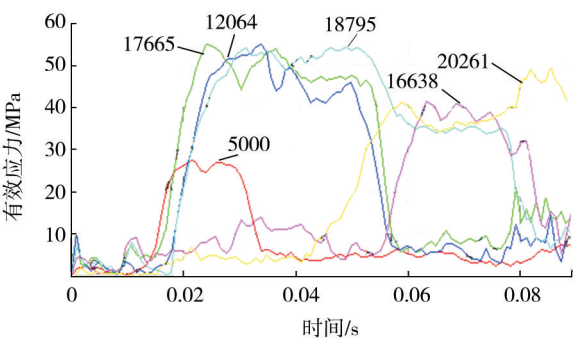


图2 吹塑桶不同单元有效应力变化曲线
Fig.2 Effective stress change curves of different elements of the plastic barrels



图3 制动液吹塑桶运输中实际损坏情况
Fig.3 Actual damage of brake fluid plastic barrels during transport

选取不同时刻吹塑桶塑性应变极大值单元的塑性应变,绘制塑性应变曲线见图4,各单元具体位置见图5。由于17003号单元与17018号单元非常接近,2526号单元与2541号单元非常接近,图5只对17003号单元和2526号单元的位置进行标识。这4个单元的位置都位于吹塑桶中上部突出部顶端。通过对吹塑桶塑性应变的分析,发现塑性应变极大值发生在17003号单元,应变量为0.0878。塑性应变量比较小,吹塑桶桶体基本完好,没有发生破损。

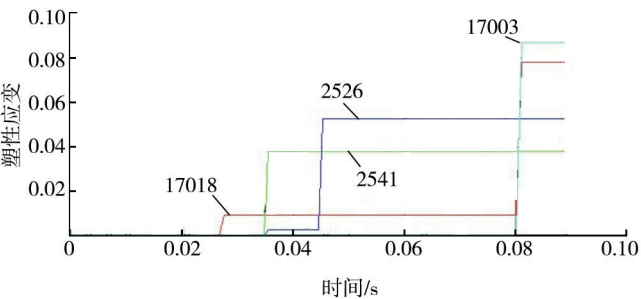


图4 吹塑桶部分单元塑性应变曲线
Fig.4 Plastic strain curves of some elements of the plastic barrels

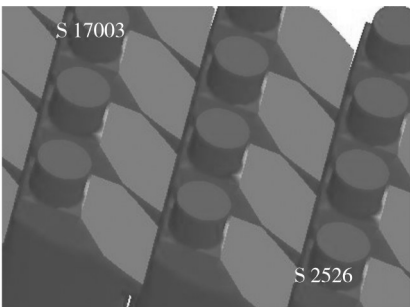


图5 各单元具体位置
Fig.5 The specific locations of the elements

3.2 三层瓦楞纸箱仿真模拟工况

改变瓦楞纸箱的厚度,由8 mm改为5.5 mm,模拟

三层瓦楞纸箱的运输包装,其他跌落条件不变。对三层瓦楞纸箱包装下的制动液进行跌落仿真试验,通过分析仿真试验结果,发现三层瓦楞纸箱塑性应变极大值单元为41493号单元,其塑性应变为0.0468。可见,该条件下的瓦楞纸箱塑性应变明显大于实际工况条件下的瓦楞纸箱塑性应变。选取跌落过程中不同时刻吹塑桶单元有效应力极大值单元,绘制有效应力变化曲线见图6。由图6可见,吹塑桶单元的有效应力极大值比实际工况情况下吹塑桶单元的有效应力极大值要高,最大值为77.9 MPa。吹塑桶其他大部分单元的有效应力在50 MPa以下,与实际工况下吹塑桶单元有效应力总体差别不大。选取吹塑桶单元不同时刻塑性应变极大值单元的塑性应变,绘制塑性应变曲线见图7。分析图7的塑性应变情况,吹塑桶塑性应变极大值单元为2526号单元,其塑性应变为0.0969,比实际工况条件下吹塑桶的塑性应变要高。

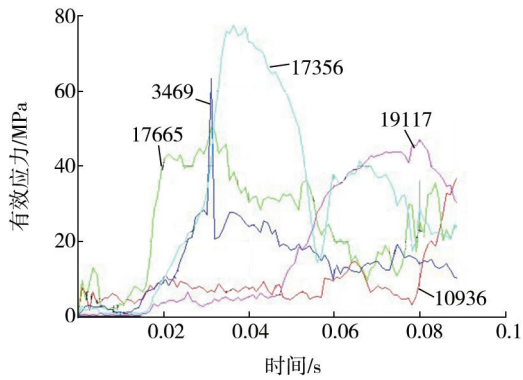


图6 三层瓦楞纸箱吹塑桶单元有效应力曲线
Fig.6 Effective stress change curves of some elements of the plastic barrels in three-layer corrugated carton

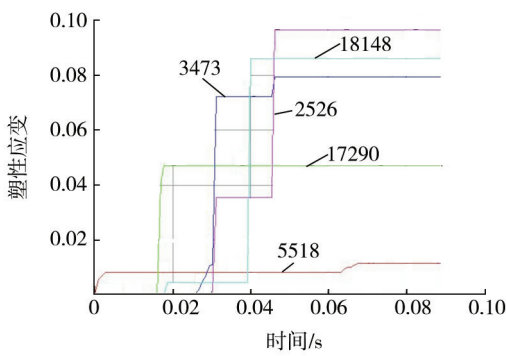


图7 三层瓦楞纸箱吹塑桶单元塑性应变曲线
Fig.7 Plastic strain curves of some elements of the plastic barrels in three-layer corrugated carton

3.3 七层瓦楞纸箱仿真模拟工况

将外部瓦楞纸箱的厚度增加,由8 mm改为12

mm,模拟七层瓦楞纸箱运输包装,其他跌落条件不变。进行跌落仿真试验,通过分析试验结果,发现七层瓦楞纸箱塑性应变最大值发生在41355号单元,塑性应变量为0.0184。选取不同时刻吹塑桶单元有效应力极大值单元的有效应力,绘制吹塑桶单元有效应力曲线见图8。对图8中应力变化情况进行分析,可以发现17665号单元在图2中也出现过,但是此时的17665号单元的有效应力值降低了,说明在七层瓦楞纸箱的保护下,吹塑桶单元的有效应力有所降低。在图8中还可以看到,12819号单元的有效应力极值比17665号单元有效应力极值高出1倍多,变化非常剧烈。选取跌落过程中不同时刻吹塑桶单元塑性应变极大值点的塑性应变,绘制塑性应变曲线见图9。对各单元塑性应变进行分析,发现图8中曾经出现的12819单元的塑性应变较大,为0.0969,而塑性应变最大的单元为21226号单元,其塑性应变为0.1011,比实际工况条件下吹塑桶单元的塑性应变还要高。

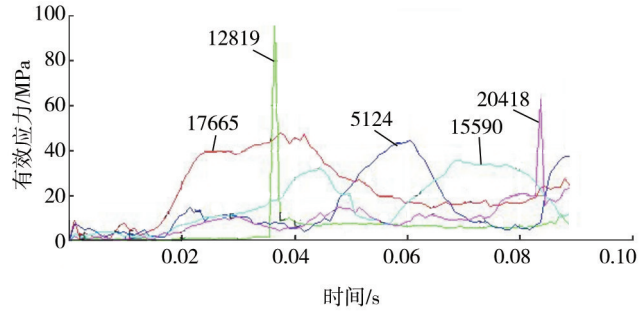


图8 七层瓦楞纸箱吹塑桶有效应力曲线
Fig.8 Effective stress change curves of some elements of the plastic barrels in seven-layer corrugated carton

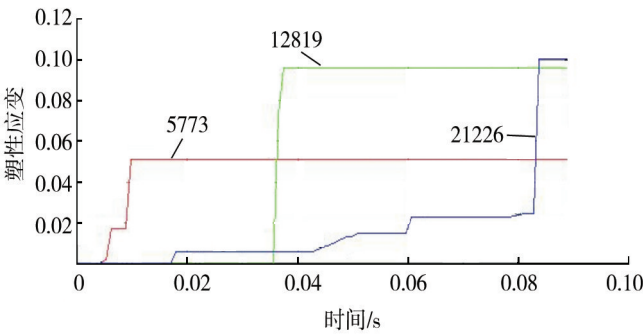


图9 七层瓦楞纸箱吹塑桶单元塑性应变曲线
Fig.9 Plastic strain curves of some elements of the plastic barrels in seven-layer corrugated carton

4 结语

1) 在角跌落过程中,吹塑桶桶身与桶口结合处和

吹塑桶中上部突出部顶端的有效应力普遍较大,可以通过增加吹塑桶该部分的厚度来提高其强度。在跌落过程中,瓦楞纸箱的塑性应变和动摩擦能够吸收部分动能,可以有效减少内装物的有效应力,对内装物起到一定的保护作用。

2) 对于中等厚度的瓦楞纸箱,由于适当的塑性应变吸收了跌落过程中的部分能量,使吹塑桶单元的塑性应变最低,对内装物吹塑桶的保护作用最好。较低厚度的瓦楞纸箱塑性应变较大,对内装物吹塑桶的保护作用较弱;较高厚度的瓦楞纸箱塑性应变较小,但在跌落过程中,由于瓦楞纸箱与吹塑桶之间的相互作用,导致吹塑桶部分单元有效应力变化剧烈,产生的塑性应变反而比中等厚度瓦楞纸箱保护下吹塑桶的塑性应变还要高。对于同一种内装物,并非增加瓦楞纸箱的厚度就能够提高对内装物的保护作用,还需要通过计算与试验来验证内装物是否得到充分保护。

参考文献:

- [1] 张沙,钱怡.电磁炉包装件的振动特性仿真[J].包装工程,2012,33(23):56—60.
ZHANG Sha, QIAN Yi. The Simulation of Electromagnetic Oven' Vibration Performance[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(23): 56—60.
- [2] SCHELL E H. Evaluation of a Fragility Test Method and Some Proposals for Simplified Method[J]. The Shock and Vibration Bull, 1969, 40(6): 56—62.
- [3] 王军,卢立新,王志伟.产品破损评价及防护包装动力学研究[J].振动与冲击,2010,29(8):43—45.
WANG Jun, LU Li-xin, WANG Zhi-wei. Study on Evaluation and Protective Packaging Dynamics of Product Damage[J]. Journal of Vibration and Shock, 2010, 29(8): 43—45.
- [4] 丁毅,董顺兰,杨冠波.基于包装件脆值的模糊推理方法的研究[J].包装工程,2008,29(1):61—62.
DING Yi, DONG Shun-lan, YANG Guan-bo. Study of Fuzzy Reasoning Methods Based on Packaging Fragility[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1): 61—62.
- [5] 华丽,钱静.洗衣机运输包装件的跌落仿真分析[J].包装工程,2008,29(4):61—62.
HUA Li, QIAN Jing. Dropping Simulation Analysis of the Transport Package of Washing Machine[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(4): 61—62.
- [6] 黄黎,赵立军,甘朝红.基于ANSYS/LS-DYNA的箱体跌落仿真[J].科技资讯,2012(12):6—8.
HUANG Li, ZHAO Li-jun, GAN Chao-hong. The Box Body Drop Simulation Based on ANSYS/LS-DYNA[J]. Science & Technology Information, 2012(12): 6—8.
- [7] ROUILLARD V, RICHMOND R. A Novel Approach to Analysing and Simulating Railcar Shock and Vibrations[J]. Packaging Technology and Science, 2007, 20: 17—26.
- [8] 严乔乔,朱霞,周晓敏,等.运输包装动力可靠性探讨[J].包装工程,2009,30(12):50—52.
YAN Qiao-qiao, ZHU Xia, ZHOU Xiao-min, et al. Discussion on Dynamic Reliability of Transportation Packing [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(12): 50—52.
- [9] 霍银磊.包装动力学理论研究进展[J].包装工程,2010,31(13):122—127.
HUO Yin-lei. Progress in Theoretical Research of Packaging Dynamics[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(13): 122—127.
- [10] 田金琛,钱怡.某包装件的有限元建模及动态性能研究[J].包装与食品机械,2014,32(4):1—4.
TIAN Jin-chen, QIAN Yi. Vibration Characteristic Experimental Research and Simulation Analysis of Stew Package[J]. Packaging and Food Machinery, 2014, 32(4): 1—4.
- [11] LOW K H. Drop Cushioning Effects of Electronics Products Formed by Plates[J]. Advances in Engineering Software, 2003, 34: 34—39.
- [12] 温正,张文电. ANSYS 14.0有限元分析权威指南[M].北京:机械工业出版社,2013.
WEN Zheng, ZHANG Wen-dian. Authoritative Guide on Finite Element Analysis with ANSYS 14.0[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2013.
- [13] 郝好山,胡仁喜,康士廷,等. ANSYS 12.0 LS-DYNA非线性有限分析从入门到精通[M].北京:机械工业出版社,2010.
HAO Hao-shan, HU Ren-xi, KANG Shi-ting, et al. Nonlinear Finite Element Analysis with ANSYS 12.0 LS-DYNA from Entry to the Master[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2010.
- [14] 唐长刚. LS-DYNA有限元分析及仿真[M].北京:电子工业出版社,2013.
TANG Chang-gang. Finite Element Analysis and Simulation [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013.
- [15] GJB 1109A—1999,军用瓦楞纸箱[S].
GJB 1109A—1999, Military Corrugated Fibreboard Box[S].