

基于类比分析的满油壶的跌落仿真

宋少云, 尹芳, 刘陈方

(武汉工业学院, 武汉 430023)

摘要: 工业油壶的三维壳模型形状复杂, 不易在其基础上创建润滑油模型, 为了能够对盛满的油壶进行跌落仿真, 采用了类比分析的方式。首先对空油壶模型进行跌落仿真, 然后用一个规则的与原油壶等外廓的长方形薄壁实体模型模拟空油壶, 并在其内注入润滑油进行跌落仿真, 根据类比分析推出了原油壶满载下的跌落应力。该方法对于某些工业产品的贮液包装物的跌落仿真, 具有一定的参考意义。

关键词: 类比分析; 流固耦合; 油壶; 跌落仿真; 多物理场

中图分类号: TB485.1; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)23-0053-03

Dropping Simulation of Full Oil Bottle Based on Analog Analysis

SONG Shao-yun, YIN Fang, LIU Chen-fang

(Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: Because the shell model of industry oil bottle is complex and so it is difficult to create lubricating oil model, analog analysis was applied to simulate drop of full oil bottle. Firstly drop simulation was carried out on the vacant oil bottle; secondly a similar rectangle solid model is used to substitute the original oil bottle; and vacant bottle and full bottle drop simulation were carried out based on this model. Finally drop Von Mises stress was calculated based on analog analysis of this model. The proposed method is meaningful to some practical industry package product filled with liquid.

Key words: analog analysis; fluid-solid coupling; oil bottle; dropping simulation; multiphysics

贮存发动机润滑油的油壶在运输、使用过程中, 可能会跌落到地面而导致油壶破裂。为保证油壶的耐用性, 在大批量生产前, 一般需要对它进行跌落试验。如果油壶不能通过跌落试验, 则需要反复修改结构设计并再次进行试验, 这使得油壶的设计周期拉得很长。

为了缩短包装产品的上市时间, 在包装行业中已经广泛使用专业力学软件进行仿真, 其中对包装容器的跌落仿真尤其引起了许多研究者^[1-4]的重视。研究者们大多使用某款有限元分析软件如 ANSYS, LS-DYNA, ABAQUS^[5-8]等在计算机中进行虚拟跌落试验, 并根据仿真结果及时对产品结构进行重新设计, 从而可以有效地缩短开发周期。

文中在油壶的设计过程中, 为了验证油壶的力学性能, 也采用专业软件进行跌落仿真。由于受到各种实际条件的限制, 不能直接对满油壶进行跌落仿真。

为了解决此问题, 文中采用了变通的方式: 首先对空油壶进行跌落试验, 然后用一个类似的简化满油壶模型进行仿真, 通过类比分析推出原油壶在满壶下的跌落仿真结果。研究表明, 该方法对于类似问题具有一定的参考意义。

1 问题描述

需要仿真的问题描述如下: 一个 4 L 的油壶, 盛满密度为 0.875 kg/m^3 的润滑油, 从距地面 2 m 的高度落下, 与刚性的水泥地面发生碰撞。材料为 HDPE, 弹性模量为 600 MPa, 密度为 0.95 kg/m^3 , 屈服极限为 24 MPa, 试确定该油壶在与水泥地面发生碰撞时是否会损坏。

首先对该问题作简要的力学分析。最危险的情况发生在油壶着地的瞬间, 此时由于油壶的自由落体

收稿日期: 2012-08-24

作者简介: 宋少云(1972-), 男, 湖北人, 博士, 武汉工业学院副教授, 主要研究方向为 CAE、有限元、机械系统仿真、多学科集成。

被阻止,其底面因受到冲击力变形而产生应力。当变形逐渐增大时,冲击应力会渐渐增加,当变形达到最大时,冲击应力达到最大。此后,因为弹性变形被恢复,冲击应力减小,直到油壶弹离地面,油壶因为受到冲击而产生的应力消失,所以该问题需要确定在应变最大的时刻油壶底部的应力分布。

本问题的研究目的是考察油壶的强度。在与地面发生碰撞的瞬间,油壶壳体除了承受水泥地面给它的冲击以外,还受到里面的润滑油给它的冲击。显然,这是一个流固耦合的瞬态动力学问题,要得到解析解是不可能的,而试验手段也很难精确测量油壶与地面发生碰撞后各点的应力变化过程,所以用数值仿真来处理是比较合适的方式。由于受到某些实际条件的限制,文中采用一种变通的基于类比分析的跌落仿真方法。

2 满油壶跌落仿真的类比分析法

满油壶的跌落分析是一种高度非线性的瞬态冲击作用下的流固耦合动力学问题。对于这种时间极短的瞬态冲击问题的求解,在数值分析中一般使用显式方法如中心差分法。该方法以前一时刻的节点位移为已知量,用毫秒甚至微秒级的时间步往前递推以得到问题的数值解。在使用显式方法计算的求解器中,LS-DYNA 在跌落仿真中得到了广泛的应用,但是就前处理而言,ANSYS Workbench 则是一个很容易使用的平台,因此采用 ANSYS Workbench 与 LS-DYNA 联合仿真的方式来进行跌落计算。

在该仿真任务中所用的油壶几何模型是用 Solid-Works 曲面造型做的壳模型,内无润滑油。对于润滑油模型的建模,在 ANSYS Workbench 的 DesignModeler 中,提供了“Fill”的方式进行填充建模,但是它只能对实体模型进行操作。为了能对该油壶模型进行装油后的跌落仿真,文中采用了折衷的方法,其步骤如下:

1) 使用 LS-DYNA 对实际的空油壶模型进行跌落仿真,计算最危险时刻危险点的 Von Mises 应力 σ_0 。

2) 在 ANSYS WORKBENCH 的 DesignModeler 中创建一个与给定的油壶模型外廓尺寸一致的长方体实体模型(类比模型),并抽壳设定其厚度为实际油壶的厚度。

3) 对此类比模型进行跌落仿真。采用的材料、边界条件、网格密度、初始条件等与步骤 1 中完全保持一致,仿真得到此时危险点的 Von Mises 应力 σ_{11} 。

4) 在 ANSYS WORKBENCH 的 DesignModeler 中对类比模型使用“Fill”操作创建润滑油模型,并设置润滑油的材料属性。

5) 对类比模型的满油壶进行跌落仿真,得到此时危险点的 Von Mises 应力 σ_{12} 。

6) 估算实际油壶满壶的跌落应力。根据 $\sigma = \sigma_0(\sigma_{12}/\sigma_{11})$ 估算应力。

显然,在逻辑学上,上述方法只是一种类比推理法。按照形式逻辑,类比推理的精度有多高,取决于这 2 个问题之间的相似度。文中确保替代模型与原始模型在外廓尺寸、材料、边界条件、初始条件都保持一致,唯一的差别在于替代模型的底部形状比原始模型更规则些,没有太多的曲面,因此相似程度相对较高。

3 仿真建模及结果分析

根据上述方法,要进行 3 次跌落仿真,每次仿真针对不同的模型。对于任何一次仿真,其步骤是类似的。首先用 ANSYS Workbench 创建项目流程,然后在 DesignModeler 中进行模型的简化或者建模,并创建地面;接着在 Engineering Data 中设置材料属性;再在 Explicit Dynamics 中设置交互作用,划分网格,设置边界条件和初始条件,运行生成 LS-DYNA 所需要的 K 文件;接着调用 LS-DYNA 求解器进行计算;计算完毕后,用 LS-PrePost 进行后处理,以考察危险时刻危险点的 Von Mises 应力。

第 1 次仿真以实际的空油壶为对象,在其下部创建刚性水泥地面,而后在 Explicit Dynamics 中划分网格,得到的有限元模型见图 1。

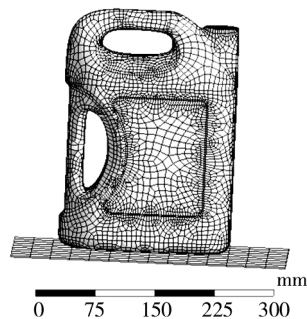


图 1 原始空油壶的有限元模型

Fig. 1 FEM model of original vacant oil bottle

直接给油壶和地面之间添加 body interaction 以考察其间的相互作用,固定水泥地面,给油壶一个初速度竖直下落(试验要求油壶从 2 m 的高度下落,由于着地之前,油壶是自由落体阶段,为节省计算时间,这里设置从距离地面 11 mm 的地方开始下落,但是给定油壶下落到此处的速度为初速度),设置仿真时间为 4 s,为确保仿真能够覆盖油壶着地后然后反弹的时间区域,在油壶底任选 5 个节点考察其位移的变化,见图 2。

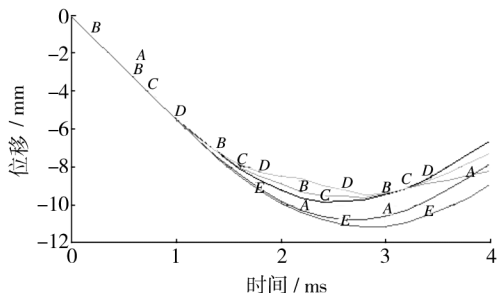


图2 原始空油壶上 5 个节点位移历程曲线

Fig. 2 Displacement curve of five points on the original oil bottle

从图 2 可见,油壶撞击地面后进行反弹,仿真时间涵盖了其撞击地面的过程,因此时间足够。在最低点的时候发生最大的变形,应力也达到最大。此时的 Von Mises 应力云图,见图 3,可以看出,在底面两边缘

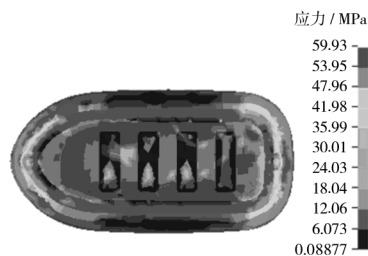


图3 原始空油壶刚接触地面的应力云图

Fig. 3 Stress contour of original vacant oil bottle at the moment of contact earth

突出的地方,应力较大,应力最大点是底面的一个拐角点,其应力是 59.93 MPa,该最大应力已经超过了屈服极限。这意味着,如果是空壶跌落的话,壶底局部地方会发生塑性变形。

为了得到装满润滑油情况下油壶的碰撞应力,按照实际油壶的外廓尺寸在 DesignModeler 中创建空油壶的模型,以及注入了润滑油的满油壶模型见图 4。图 4b 中注入了润滑油。

用类似的条件进行第 2 次、第 3 次跌落仿真,以

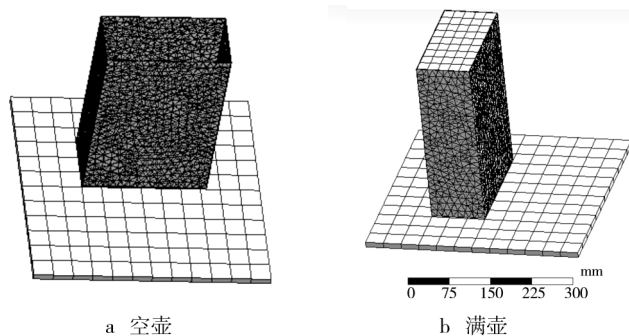


图4 类比模型

Fig. 4 Analog model

考察在跌落及反弹过程中油壶的最大应力。为了考虑满壶模型中润滑油对油壶的影响,在油壶和润滑油之间施加 body interaction。使用与原始空油壶跌落仿真完全一样的方式进行仿真,结果表明,类比空壶模型与地面碰撞期间最大的 Von Mises 应力为 70.87 MPa,而类比满壶模型 Von Mises 应力为 7.96 MPa。

由于原始油壶模型的最大 Von Mises 应力是 59.93 MPa,与文中类比模型应力 70.87 MPa 相比,原始油壶模型的应力是类比模型的 83.6%,近似程度较高,其差距主要来自一些几何细节如圆弧、倒角等的不同。

另一方面,类比模型的满壶与空壶模型的最大 Von Mises 应力比值 $k = 11.2\%$ 。

可以推测,原始油壶在盛满润滑油后的最大跌落 Von Mises 应力是: $\sigma = 6.64 \text{ MPa} \leq 24 \text{ MPa} = [\sigma]$,因此跌落后不会出现损坏。

4 结语

工程实际中出现的问题千变万化,要进行数值仿真,需要采取变通的方法。对一个油壶的跌落强度分析采用了类比分析的方法,得到的应力不一定精确,但大致接近。该方法对其它贮液容器的跌落分析有一定的参考意义。

参考文献:

- [1] KARAC A, IVANKOVIC A. Investigating the Behaviour of Fluid-Filled Polyethylene Containers under Base Drop Impact: a Combined Experimental/numerical Approach[J]. International Journal of Impact Engineering, 2009, 36(4): 621-631.

(下转第 79 页)

- [J]. 自动化仪表, 2006(9): 45-48.
- ZHANG Xiao-hu, YANG Xiao-jian. Design of the Solid Materials Feeding System Based on Fuzzy Control[J]. Automation Instrumentation, 2006(9): 45-48.
- [3] 秦玉华, 王东兵, 张海燕, 等. 基于图像识别技术的总碱度自动测定方法[J]. 仪器仪表学报, 2011(11): 2586-2589.
- QIN Yu-hua, WANG Dong-bin, ZHANG Hai-yan, et al. Automatic Determination of Total Alkalinity Based on Image Identification Technology[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2011(11): 2586-2589.
- [4] 陈满儒, 王海峰, 张文明. 神经网络 PID 在包装机控制系统中的应用研究[J]. 包装工程, 2009, 30(4): 10-11.
- CHEN Man-ru, WANG Hai-feng, ZHANG Wen-ming. Applied Research of Neural Network PID in Control System of Packaging Machine[J]. Package Engineering, 2009, 30(4): 10-11.
- [5] 黄斌, 杨世洪, 吴钦章. 基于内容的特大图像检索研究及实现[J]. 计算机工程与应用, 2005(12): 31-33.
- HUANG Bin, YANG Shi-hong, WU Qin-zhang. A Project to Retrieve Super Large Image Based on Contents[J]. Computer Engineering and Applications, 2005(12): 31-33.
- [6] 朱学芳. 多媒体信息处理与检索技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002: 32-43.
- ZHU Xue-fang. Multimedia Info Processing & Search Technology[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002: 32-43.
- [7] 李逸波. 多媒体数据库技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 113-134.
- LI Yi-bo. Multimedia Database Technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2004: 113-134.
- [8] 高建, 茅时群, 周宇玫, 等. 一种基于映射图像子块的图像缩小加权平均算法[J]. 中国图象图形学报, 2006: 1460-1463.
- GAO Jian, MAO Shi-qun, ZHOU Yu-mei, et al. A Weighted Averaging Algorithm of Image Zooming-out Based on Image Sub-block[J]. Journal of Image and Graphics, 2006: 1460-1463.
- [9] 郁方方. 基于图像识别的带式输送机监护系统(硬件设计)[J]. 中国高新技术企业, 2011(11): 50-52.
- YU Fang-fang. Wardship System (Hardware) of Strap Transportation Based on Image Identification[J]. China Hi-tech Enterprise, 2011(11): 50-52.
- [10] HAFNER J, SAWHNEY H S. Efficient Color Histogram Indexing for Quadratic Form Distance Functions[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(7): 729-736.
- [11] STRICKER M, ORENGO M. Similarity of Color Images[C]. IS & T/SPIE Conf on Storage and Retrieval for Image and Video Databases III, San Jose, CA: Feb, 1995: 381-3920.
- [12] TAMURA H, MORI S, YAMAWAKI T. Texture Features Corresponding to Visual Perception[C]. IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics, Smc-8, June, 1978.

(上接第 55 页)

- [2] VARAS D, ZAERA R, LOPEZ-PUENTE J. Numerical Modeling of the Hydrodynamic Ram Phenomenon[J]. International Journal of Impact Engineering, 2009, 36(3): 363-374.
- [3] SUVANJUMRAT C, THUSNEYAPAN S, PUTTAPITUKPORN T. A Suitable Mathematical Model of PET for FEA drop-Test Analysis[J]. KMITL Science Journal, 2007, 7: 6-17.
- [4] LI Qiang, LIU Shu-lian, ZHENG Shui-ying. Rate-dependent Constitutive Model of Poly(Ethylene Terephthalate) for Dynamic Analysis[J]. Journal of Zhejiang University-Science A: Applied Physics & Engineering, 2010, 11(10): 811-816.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 王俊丽, 陈喜春. 缓冲包装的跌落仿真[J]. 包装工程, 2007, 28(9): 8-10.
- WANG Jun-li, CHEN Xi-chun. Drops Simulation of Cushion Packaging[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(9): 8-10.
- [8] 朱若燕, 李厚民. 空调包装结构的跌落仿真分析[J]. 包装工程, 2006, 27(6): 4-5.
- ZHU Ruo-yan, LI Hou-min. Dropping Emulation Analysis of the Packaging Structure for Air Conditioner[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 4-5.