

不同内容物的容器静压及跌落实验结果差异性分析

徐雅, 张玉婷, 付志强, 张蕾, 周传浩

(天津科技大学 包装创新设计实验室, 天津 300222)

摘要: 目的 在相同罐体条件下, 分别探究不同内容物的罐体静态压缩及动态跌落实验结果的差异性。

方法 针对常见的空气、液体、固体内容物的 3 类罐体进行静态压缩和动态跌落实验, 以跌落方式、跌落高度、测试位置为变量对比分析不同罐体的最大加速度拟合曲线。**结果** 在静压实验中, 空气罐应力集中在下方, 液体罐和固体罐应力集中在上方。在跌落实验中, 3 类罐体的最大加速度值均有差异, 差值最大为 1.59 km/s^2 ; 2 种跌落方式下, 由上至下, 空气罐身应力分布呈三次函数, 极值点与对称中心受跌落高度影响较大; 液体罐身应力分布呈正弦函数, 幅值和初相受跌落高度影响较大; 固体罐身应力分布在平跌落与 45° 角跌落下分别呈指数函数和二次函数, 受跌落高度影响不大。**结论** 内容物不同, 容器的静态压缩实验结果不同, 动态冲击实验结果有显著差异, 跌落方式对容器的动态跌落结果有较大影响。

关键词: 内容物; 静态压缩; 动态跌落

中图分类号: TH49 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)15-0062-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.15.010

Otherness Analysis on Static Pressure and Drop Test Results of Containers with Different Contents

XU Ya, ZHANG Yu-ting, FU Zhi-qiang, ZHANG Lei, ZHOU Chuan-hao

(Laboratory for Innovative Design of Package, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the otherness in test results of static compression and dynamic drop between the same tanks with different contents. Static compression and dynamic drop tests were carried out on three tanks with normal air, liquid and solid. The maximum acceleration fitting curves of different tanks were compared and analyzed by drop mode, drop height and test position. In static compression, the stress of the air tank was concentrated in the lower part, and the stress of the liquid and solid tanks was concentrated in the upper part. In the dynamic drop, the maximum acceleration of three tanks was different, with a maximum difference of 1.59 km/s^2 . Under the two drop modes, from top to bottom, the stress distribution of the air tank body presented a cubic function, and the extreme point and the center of symmetry were greatly affected by the drop height. The stress distribution of the liquid tank body was sinusoidal and the amplitude and the initial phase were greatly affected by the height of the drop. Solid tank body exhibited an exponential function during horizontal drop and a quadratic function during the drop with the angle of 45° . The drop height had little effect on the curve. With different contents, static compression test results are different, dynamic impact test results are significantly different, and drop mode has a great impact on the dynamic drop results.

KEY WORDS: contents; static compression; dynamic drop

收稿日期: 2019-04-13

基金项目: 天津科技大学青年创新基金 (2016LG27)

作者简介: 徐雅 (1996—), 女, 硕士, 天津科技大学硕士生, 主攻包装动力学。

通信作者: 付志强 (1982—), 男, 博士, 天津科技大学讲师, 主要研究方向为运输包装数值模拟技术。

近年来,随着计算机技术的迅速发展,有限元技术由于其实用性、便捷性和高效性被越来越多的学者用来研究包装领域的相关问题^[1],如贮液容器的运输过程。张改梅^[2]等在铝制易拉罐内容物为空气的前提下,对不同跌落条件下的易拉罐进行了仿真分析。门超等^[3]使用红酒和空气的质量参数进行了红酒及其包装件的跌落仿真。刘艾^[4]等在仿真过程中定义白酒为 solid 164 实体单元,研究了白酒和整体包装件的跌落冲击过程。王春霖^[5]等使用 fluid 80 流体单元定义啤酒,对比分析了啤酒瓶在贮酒和空瓶下的跌落仿真结果。聂君锋等^[6]采用耦合欧拉-拉格朗日(CEL)方法,模拟了液体在储液容器跌落过程中的惯性效应以及液体对容器的侧向液动压力。Karac 等^[7]通过实验及有限元分析试图探究贮液容器在跌落过程中流体对瓶壁的压力、瓶壁应变或应变率的影响。在贮液容器的仿真分析中,不同学者^[8-10]对内容物的材料设置与耦合方式不同。

根据流体力学基础理论,空气与液体的可压缩性和能量吸收性能不同,目前鲜有学者对仿真结果进行准确的实验验证。为探究不同内容物对容器实验结果的影响,文中以 240 mL 的“露露”杏仁罐为研究对象,选取仿真中典型的空气^[11]、固体^[12]、液体^[13-15]等 3 种内容物,对罐体进行静态压缩与动态跌落实验。随后比较 3 类罐体静态压缩的时间-载荷曲线与变形位置,对比分析平跌落和角跌落下不同罐体的跌落高度-最大加速度拟合曲线,探究不同罐体的最大加速度分布,得到不同内容物对罐体实验结果差异性的影响,为贮液容器的有限元仿真奠定基础。

1 实验

实验对象选择同一批次且外观无缺陷的产品空气罐、液体罐和固体罐。液体罐与固体罐质量相同,均为 298 g,空气罐质量为 43.2 g,罐体材料为厚 0.68 mm 的镀锡薄钢板,罐底直径为 53 mm,罐高为 133 mm。

1.1 静态压缩实验

参照 GB 8168—1987《包装用缓冲材料静态压缩试验方法》进行实验,设备为电子万能材料试验机(INSRON3369,美国,见图 1),测试环境温度为 29 °C,相对湿度为 82%。将罐体放在试验机的上下压块间,压缩速度为 5 mm/min,总压缩位移为 10 mm,每组实验重复 3 次取平均值。

1.2 动态跌落实验

实验设备为动态测试及信号分析系统(TP3, Lansmont, 美国)、激光位移传感器(LK-G400, 基恩士有限公司)。测试环境温度为 29 °C,相对湿度为 82%,设置跌落高度为 14, 20, 30, 40, 50 mm,传感器固定位置见图 2。将传感器依次固定在 5 个位

置,进行 3 类罐体在 5 个不同高度的平跌落与 45°角跌落实验,每组实验重复 3 次取平均值。



图 1 静态压缩实验设备

Fig.1 Experimental equipment for static compression

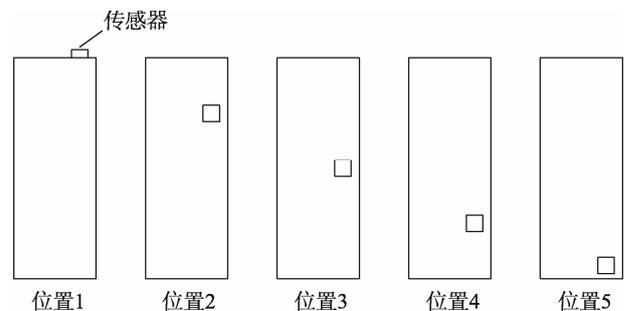


图 2 传感器在罐体上的固定位置

Fig.2 Fixed position of sensor on tank

2 结果与分析

2.1 静压下的不同内容物对压缩变形的影响

不同罐体的时间-载荷曲线见图 3,静压后变形的罐体与原罐体的细节见图 4。由图 3 可知,空气罐与

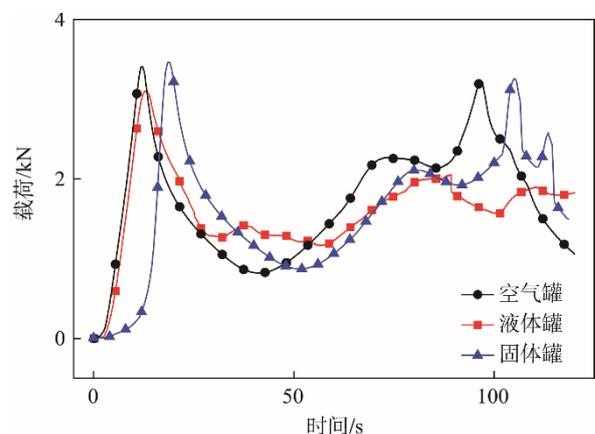


图 3 罐体静态压缩的时间-载荷曲线

Fig.3 Time-load curves of tank static compression

固体罐分别在 11.8 s 和 19 s 达到第 1 个载荷峰值, 峰值大小相差不大, 曲线到达峰谷后在 81.5 s 和 96.6 s 达到第 2 个载荷峰值再持续下降。液体罐在 13.3 s 时到达第 1 个载荷峰值后持续下降, 曲线在 25 s 之后保持平稳。由图 4 可知空气罐和固体罐压缩的罐身盖住罐底的二重卷边, 液体罐压缩的罐身盖住罐顶的二重卷边。由于固体罐的内容物为较松软、有间隙的泥土, 其实验结果与空气罐基本相似。结果表明, 内容物不同, 罐体在静态压缩时的时间-载荷曲线不同, 应力集中位置也不同。

2.2 跌落下加速度对比分析

根据流体力学能量守恒, 液体罐在跌落过程中液体内容物的内应力做功, 将部分机械能转换成了液体

内能; 空气罐和固体罐在跌落过程中内容物内能稳定, 机械能基本作用于罐身。

2.2.1 不同内容物的最大加速度的对比

传感器固定在位置 1 时, 2 种跌落方式下, 3 类罐体的跌落高度-最大加速度拟合曲线见图 5。平跌落时, 固体罐最大加速度值虽始终大于液体罐, 但线性拟合曲线斜率相差极小; 空气罐的线性拟合曲线斜率最小。角跌落时, 空气罐的线性拟合曲线斜率明显大于液体罐与固体罐; 液体罐的拟合曲线斜率最小。结果表明, 不同内容物对罐体的最大加速度值和最大加速度增长速率影响较大; 平跌落和角跌落对容器的最大加速度增长速率也有影响。



图 4 静压后的罐体与原罐体
Fig.4 Tanks and original tank after static compression

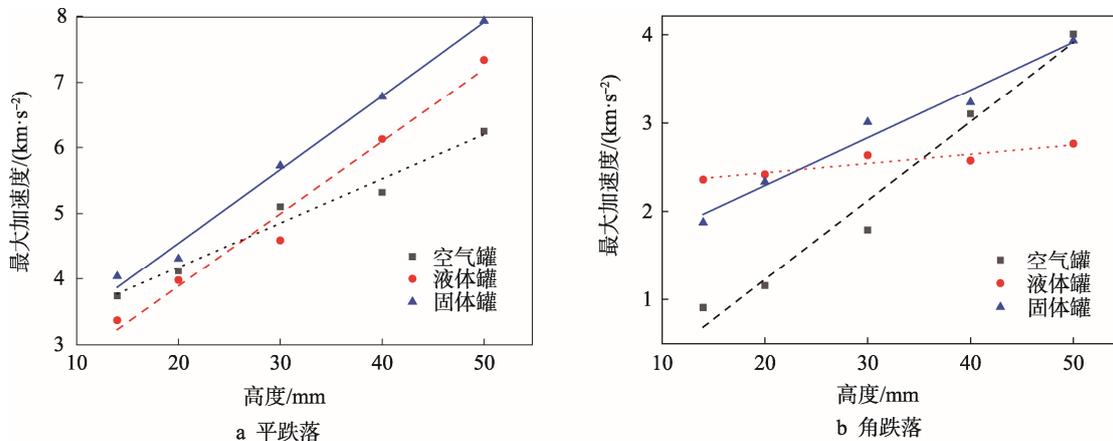


图 5 罐体的跌落高度-最大加速度拟合曲线
Fig.5 Fitting curves of tank drop height and maximum acceleration

2.2.2 不同内容物的加速度分布的对比

不同跌落高度和跌落方式下，3 类罐体的加速度分布拟合曲线见图 6。平跌落时，空气罐罐身的加速度拟合曲线在 5 个跌落高度下呈三次函数趋势；曲线最大值点位于位置 2，对称中心随跌落高度变化而变化。液体罐的加速度拟合曲线在 5 个跌落高度下呈正弦曲线趋势；跌落高度为 14 mm 时，曲线幅值较小，峰值位于位置 4；其他 4 个跌落高度下，曲线幅值明显随高度增加而增加，且峰值位于位置 3。在 5 个跌落高度下，固体罐的加速度拟合曲线都呈反比例曲线

趋势；位置 1 的最大加速度最大；跌落高度越大，曲线的最大加速度变化速率越明显。

角跌落时，空气罐罐身的加速度拟合曲线呈三次函数趋势；跌落高度为 14, 20 mm 时，曲线对称中心位于位置 3，极值点为位置 2 和 4；在其他跌落高度下，极值点位于位置 3。在跌落高度为 14 mm 时，液体罐的加速度拟合曲线呈二次函数趋势；在其他跌落高度下，加速度拟合曲线呈正弦曲线趋势，加速度最高点在位置 5。在 5 个跌落高度下，固体罐的加速度拟合曲线呈二次函数趋势；加速度最高点在位置 1

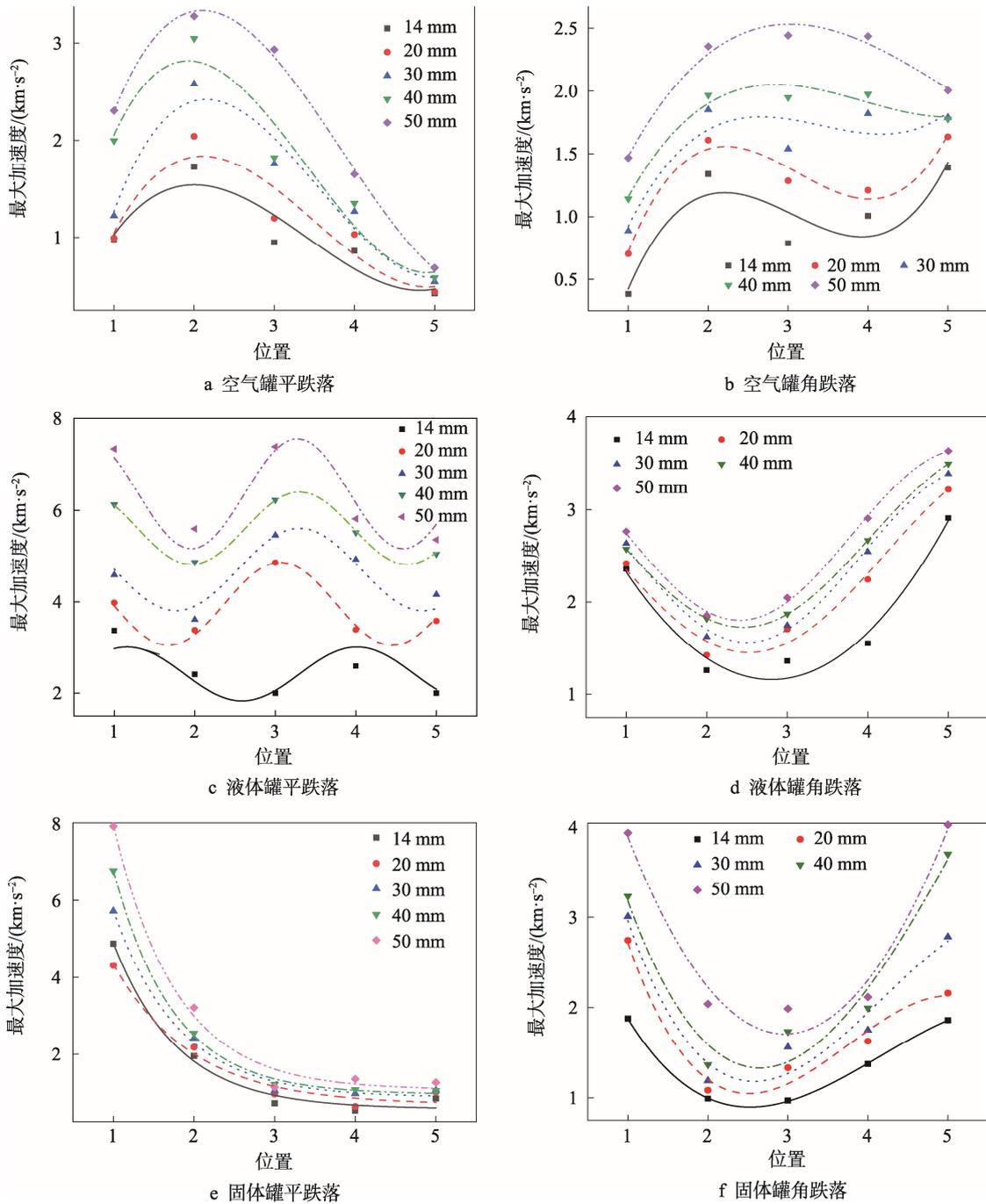


图 6 罐体的位置-最大加速度-跌落高度拟合曲线
Fig.6 Fitting curves of tank position - maximum acceleration - drop height

和位置 5, 极值点位于位置 2 和位置 3 之间。由于存在固液耦合现象^[6], 结果表明, 不同内容物的加速度分布曲线的趋势完全不同, 最大加速度值及其分布位置不同; 跌落方式对容器的加速度分布方式有明显影响。

3 结语

由于固体、液体及气体的可压缩性不同, 静压时, 不同容器到达载荷峰值的时间不同, 液体罐的载荷峰值明显小于固体罐与气体罐; 液体罐的应力集中位置位于容器下方, 气体罐和固体罐的应力集中位置位于容器上方。

动态跌落时, 不同内容物对容器的最大加速度值和最大加速度增长速率影响较大; 平跌落和角跌落下, 容器的最大加速度增长速率变化明显, 尤其是液体罐。

在 2 种跌落方式下, 气体罐加速度由上至下分布趋势呈三次函数曲线; 液体罐加速度由上至下分布趋势呈正弦曲线。在平跌落时, 固体罐加速度由上至下分布趋势呈反比例曲线; 在角跌落时, 固体罐加速度由上至下分布趋势呈二次函数曲线。平跌落和角跌落对容器的加速度分布有显著影响。

参考文献:

- [1] 赵慧妍, 付志强, 王岩, 等. 基于 Fluent 的 XPS 保温箱温度场数值模拟方法分析[J]. 包装工程, 2018, 39(19): 105—109.
ZHAO Hui-yan, FU Zhi-qiang, WANG Yan, et al. Numerical Simulation Analysis of Temperature Field of XPS Incubator Based on Fluent[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(19): 105—109.
- [2] 张改梅, 仵季红, 郭福宾. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的易拉罐跌落研究[J]. 包装工程, 2011, 32(5): 4—6.
ZHANG Gai-mei, WU Ji-hong, GUO Fu-bing. A Study of Drop of Cans Through ANSYS/LS-dyna[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(5): 4—6.
- [3] 门超, 李光. 红酒包装跌落仿真分析及优化设计[J]. 包装工程, 2018, 39(3): 38—42.
MEN Chao, LI Guang. Simulation Analysis and Optimization Design of Wine Packaging Drop[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(3): 38—42.
- [4] 刘艾, 赵英芹, 王玉龙, 等. 白酒包装件跌落有限元分析与优化设计[J]. 包装工程, 2014, 35(17): 22—26.
LIU Ai, ZHAO Ying-qin, WANG Yu-long, et al. Finite Element Analysis and Optimization Design of Liquor Packaging Parts Drop[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(17): 22—26.
- [5] 王春霖, 张丽强, 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 Chun-lin, ZHANG Li-qiang, WANG Zhen-lin. Ansys-based Simulation Stress Analysis of Beer Bottle Drop[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(4): 23—25.
- [6] 聂君锋, 张海泉, 李红克, 等. 储液容器跌落事故的

- 有限元分析[J]. 核动力工程, 2013, 34(3): 144—147.
NIE Jun-feng, ZHANG Hai-quan, LI Hong-ke, et al. Finite Element Analysis of Liquid Storage Container Falling Accident[J]. Nuclear Power Engineering, 2013, 34(3): 144—147.
- [7] KARACA A I. 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.
- [8] 李政, 金先龙, 陈向东. 储液容器跌落碰撞的并行仿真计算研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2008, 16(4): 588—595.
LI Zheng, JIN Xian-long, CHEN Xiang-dong. Research on Parallel Simulation of Falling Collision of Liquid Storage Container[J]. Journal of Applied Foundation and Engineering Science, 2008, 16(4): 588—595.
- [9] 石岩, 张括, 王芳, 等. 全瓦楞纸板的红酒包装内衬设计及跌落分析[J]. 包装工程, 2017, 38(9): 135—140.
SHI Yan, ZHANG Kuo, WANG Fang, et al. Design and Drop Analysis of Red Wine Packaging Liner with Full Corrugated Board[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(9): 135—140.
- [10] 田野, 赵雪微, 智慧, 等. 新型转轮式红酒包装设计及其跌落有限元分析[J]. 包装工程, 2013, 34(19): 51—54.
TIAN Ye, ZHAO Xue-wei, ZHI Hui, et al. Structural Design and Drop Finite Element Analysis of New Rotary Red Wine Packaging[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(19): 51—54.
- [11] 张光浩, 霍平, 陈丽文. 低温液化气体储罐封头及支座的有限元分析[J]. 中国高新技术企业, 2013(29): 36—37.
ZHANG Guang-hao, HUO Ping, CHEN Li-wen. Finite Element Analysis of Low-temperature Liquefied Gas Tank Head and Support[J]. China High-tech Enterprise, 2013(29): 36—37.
- [12] 李庭庭, 曹京宾. 基于 Workbench 的砼搅拌机罐体有限元分析[J]. 机械工程与自动化, 2016(1): 98—99.
LI Ting-ting, CAO Jing-bin. Finite Element Analysis of Concrete Mixer Tank Based on Workbench[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2016(1): 98—99.
- [13] JIA S, ZHAO Y, XU C, et al. Dynamic Analysis and Seismic Performance Evaluation of Fluid-filled Tank Considering Liquid Sloshing[C]// Wuhan: Science Press, 2012.
- [14] ZHANG Y, ZHANG W, GUO J, et al. Analysis on the Effects of the Shapes of Flexible Fluid-filled Containers on Their Impact Response[J]. International Journal of Heat and Technology, 2017, 35(1): 139—146.
- [15] ZHENG L, JIN X L, CHEN X D. Crash Simulation of Flexible Fluid-filled Container Based on Arbitrary Lagrangian-eulerian Formulation Method[J]. Journal of Vibration & Shock, 2007, 26(8): 72—75.
- [16] CHEN H, CHRISTENSEN E D. Development of a Numerical Model for Fluid-structure Interaction Analysis of Flow Through and Around an Aquaculture Net Cage[J]. Ocean Engineering, 2017, 142: 597—615.