缓冲气囊着陆过程仿真研究

齐明思，刘守君，赵 奇，李瑞琴，张 峰
（中北大学，太原 030051）

摘要：以冲压式快速空投气囊为研究对象，对冲压式快速空投气囊的垂直着陆缓冲过程进行了仿真。首先使用 Solidworks 软件建立了气囊的仿真模型，然后使用 Ansys/LS-Dyna 有限元分析软件，仿真研究了冲压式快速空投气囊着陆过程中气囊的应力应变的动态参数。研究得出了气囊在着陆缓冲过程中受到的最大应力值，以及出现最大应变的区域，从而更好地确定空投物体的质量，并且可以针对性地加强对气囊应力应变较大区域的防护，防止气囊在冲击过程中被破坏。

关键词：硬式气囊；缓冲；仿真；Ansys/LS-Dyna
中图分类号：TB485.1　**文献标识码：**A　**文章编号：**1001-3563(2013)23-0005-04

Simulation Research on Landing Process of Cushioning Airbag

QI Ming-si, *LIU Shou-jun*, *ZHAO Qi*, *LI Rui-qin*, *ZHANG Feng*
(North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Punched quick airdrop airbag was taken as research object and the vertical landing process of the airbag was simulated. A simulation model of the airbag was established using Solidworks software and simulation was carried out using finite element analysis software Ansys/LS-Dyna. The dynamic parameters, such as stress and strain of the airbag, were studied. The maximal value of the airbag and the area where the maximum strain occurs during landing process was obtained. As a result, the mass of airdrop body can be better specified, and the protection of the area with great stress and strain can be strengthened accordingly.

Key words: rigid airbag; punching; cushion; simulation; Ansys/LS-Dyna

在抗震救灾、军事演练或作战时，食品、生活用品、医药、军事设备等必需品的运输补给是至关重要的，空降空投以其快捷方便的特点而得到了广泛的应用[1-4]。物资空投到地面时，会受到比较强烈的冲击，如果不采用适当的保护措施，就会使物资受到损坏。气囊缓冲技术是最常用的着陆缓冲技术之一，气囊缓冲装置已经广泛应用在航天器着陆和回收、无人机降落、设备空投、深空探测器着陆等领域[5-8]。随着计算机技术的发展，仿真技术在缓冲气囊设计以及特性研究中的作用越来越大，可用于气囊缓冲过程的仿真[9-12]。目前，国内外在缓冲气囊仿真研究中建立了很多气囊仿真模型，而有限元方法是应用非常广泛的建模方法。有限元方法是通过对气囊壁划分网格，计算不同时刻气囊的变形，从而得到气囊在着陆缓冲过程中任意时刻的应力应变的动态参数[13-15]。为了提高空投质量，文中以冲压式快速空投气囊为研究对象，建立了气囊模型，采用有限元方法，对冲压式快速空投气囊的垂直着陆缓冲过程进行了仿真，分析了气囊着陆过程中的应力应变的动态参数。

1　气囊的仿真模型分析

采用 Solidworks 建立硬式缓冲气囊的结构，见图 1[16]，它是由 16 个缓冲单元装配而成的，两两相连的单元之间以通气道相连。每个单元体为 700 mm×700 mm×500 mm 的壳体，壁厚为 30 mm，其底面有一个直径为 150 mm 的进气孔，其他 4 个侧面上各有一个直径为 120 mm 的排气孔，见图 2。

收稿日期：2013-09-03
基金项目：国家自然科学基金资助项目(51275486)
作者简介：齐明思(1979-)，男，河南周口人，博士，中北大学副教授，主要研究方向为机械系统动态测试与分析、缓冲技术等。

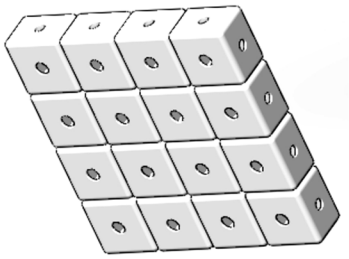


图 1 硬式缓冲气囊模型

Fig. 1 Model of rigid cushioning airbag

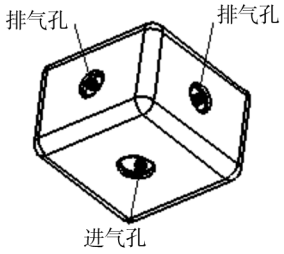


图 2 缓冲单元模型

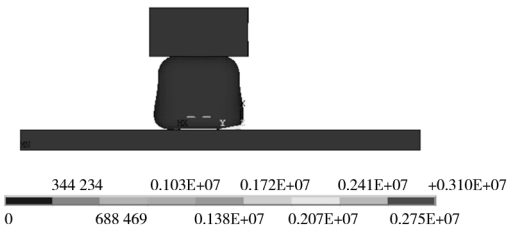
Fig. 2 Model of cushioning cell

硬式气囊的底面有 16 个进气孔,其他 4 个侧面各有 4 个排气孔。当货物从空中下落着陆受到冲击时,气囊内的气体受到压缩,排气孔开始排气,直到气囊内的气体被全部排完,并且假定底面的进气孔由于受到地面的挤压而处于封闭状态。缓冲气囊正是靠排气孔排气这一过程,对货物起到了缓冲保护作用。在货物着陆受到冲击时,由各个缓冲单元组成的硬式气囊构成一个缓冲系统,对货物起到了很好的缓冲保护作用。

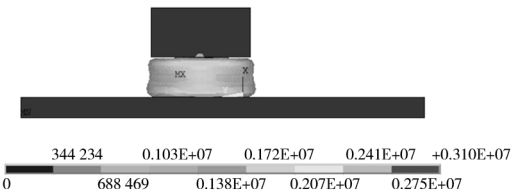
2 气囊垂直着陆时的仿真和分析

缓冲气囊由 16 个缓冲单元组成,并且其整体结构和各个缓冲单元都是对称的,整个缓冲气囊的表面有 16 个进气孔和 16 个排气口,平均每个缓冲气囊只有 1 个进气孔和 1 个排气口。根据有限元理论的对称原则,选取有限的实体模型模拟整个模型,即用一个尺寸为 700 mm×700 mm×500 mm 的缓冲气囊代替整体气囊,简化的气囊底面有一个直径为 150 mm 的进气孔,相邻的一个侧面上有一个直径为 120 mm 的排气孔。为了简化分析,在着陆缓冲时,可以假设缓冲气囊的表面是整体受压,而且不考虑进气口的影响,可以给缓冲气囊上加载一个 800 mm×800 mm×300 mm 的物体,用来代替货物和托盘。把简化后的缓冲气囊模型导入 Ansys 中,对其进行实体填充并且加载。按最大质量为 907 kg,最高速度为 160 km/h 的原则来设计所加载货物的密度和重力加速度等参数,使其与实际着陆的情况比较相符。气囊的泊松比设为 0.5,弹性模量为 0.7×10^{11} Pa。

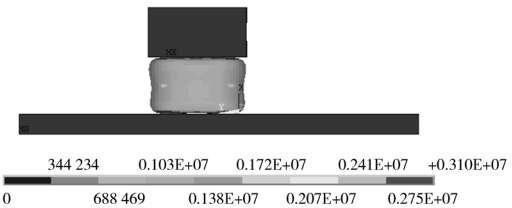
垂直着陆时气囊缓冲过程的应力和应变图形见图 3-4,图 3a,b,c,d 分别是 0.016 542, 0.044 117,



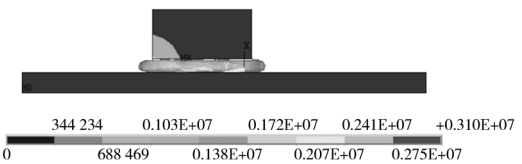
a 时间=0.016 542 s



b 时间=0.044 117 s



c 时间=0.077 21 s



d 时间=0.159 933 s

图 3 缓冲气囊的应力云图

Fig. 3 Stress nephogram of the cushioning airbag

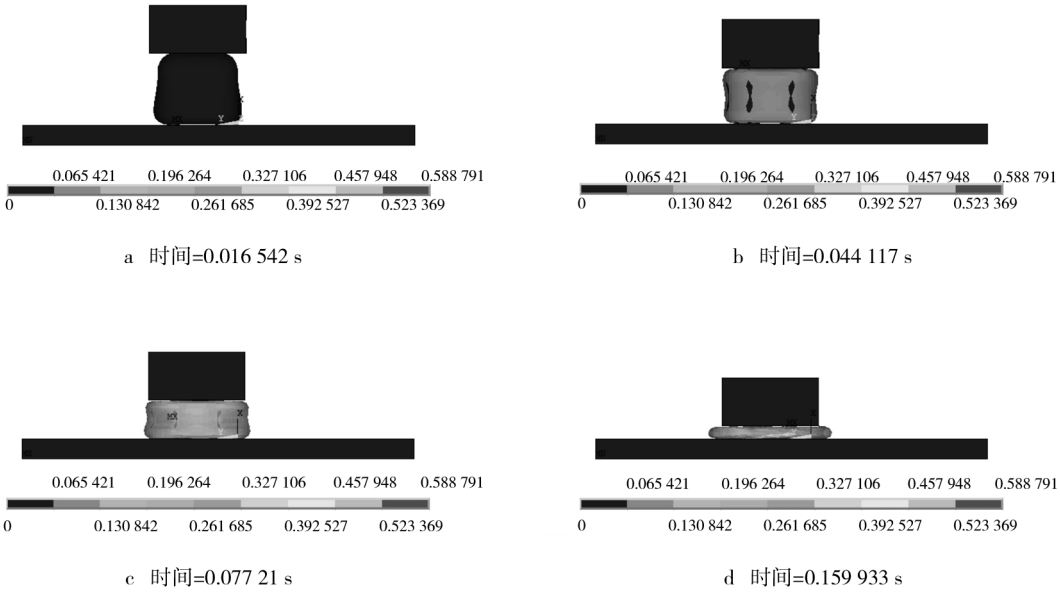


图 4　缓冲气囊的应变云图

Fig. 4 Strain nephogram of the cushioning airbag

0.077 21,0.159 933 s 4 个典型时间的应力图。由图 3d 可知,时间为 0.159 933 s 时,气囊表面和周围的棱所受的冲击应力达到最大值,其值为 27 108 GPa,此时对应于图 4d 中气囊的最大变形为 0.460 734 m。在形变过程的同时,当气囊排气口搭扣在力的作用下达到预定值后,会自动打开进行排气,缓冲过程开始,随着时间的推移,气囊高度方向被压缩至最小,缓冲过程完成。

以气囊受到的最大应力 27 108 GPa 作为选择气囊的标准之一,并据此确定空投质量、目标区域和具体空投任务。这只是计算机对单一变量的分析结果,还须进行实体空投试验进行验证。从气囊的应力图可以知道,底面和周围的棱需要较强的防护措施,防止在冲击过程中被破坏。

3　有限元分析

1）由缓冲气囊的应力应变云图可以看出,在缓冲过程的前阶段,气囊的应力在整个气囊上均匀增大,但在 0.077 21 s 时,气囊中间表面部分的应力开始比气囊上下两面的应力大,到缓冲即将结束时,气囊表面和周围棱的应力达到最大值。在整个缓冲过程中,气囊应变大小的改变与应力的改变基本一致,应力大的地方应变也大,因此在制作缓冲气囊时,可以考虑将气囊中部表面和棱边部位加厚,以降低气囊破坏的可能性。

2）虽然与地面接触的气囊表面的应力与应变值不是最大值,但是应力应变值也较大,并且由于缓冲气囊在使用过程中会受到复杂地形的影响,与地面接触的气囊表面也容易损坏,因此在设计气囊时可以通过加厚等措施来对该区域进行保护。

4　结语

文中建立了缓冲气囊模型,通过 Ansys 软件对气囊的垂直着陆过程进行了仿真,得到了缓冲气囊着陆缓冲中随时间变化的应力应变云图。经分析可知,应力应变的最大值出现在气囊中部表面及周围棱边处,与地面接触的气囊表面应力与应变也较大,因此就找出了气囊需要加强保护的区域。在缓冲气囊垂直着陆动态仿真分析过程中,得到了气囊需要重点保护区域的最大应力,气囊在仿真实验中满足要求,说明气囊结构设计和材料选择能够承受较大的冲击,吸能效果好,具有良好的动态缓冲特性。文中只是假设货物会垂直着陆,但是在实际的货物空降空投时,会受到天气、地形等外部环境的影响,货物不一定垂直着陆,因此气囊在一定角度下的着陆缓冲将是下一步研究的重点。

参考文献：

[1] 温金鹏，李斌，杨智春. 缓冲气囊冲击减缓研究进展[J]. 宇航学报，2010，31(11)：2438-2445.
WEN Jin-peng，LI Bin，YANG Zhi-chun. Progress of Study on Impact Attenuation Capability of Airbag Cushion System [J]. Journal of Astronautics，2010，31(11)：2438-2445.

[2] 齐明思，于丽娜，殷强，等. 基于 ANSYS 的冲压式快速空投硬式气囊应力分析[J]. 包装工程，2010，31(15)：69-72.
QI Ming-si，YU Li-na，YIN Qiang，et al. Stress Analysis on Ram Rigid Airbag for Quick Airdrop Based on ANSYS[J]. Packaging Engineering，2010，31(15)：69-72.

[3] EWING，LIEUTENANT C B. Precision Parachute Capabilities and Their Potential Employment in the Land Force[J]. Canadian Army Journal，2005，8(3)：83-92.

[4] HAULT-DUBRULLE A，ROBACHE F，DRAZETIC P，et al. Determination of Pre-impact Occupant Postures and Analysis of Consequences on Injury Outcome-part II：Biomechanical Study[J]. Accident Analysis and Prevention，2011，43(1)：75-81.

[5] 于成果，李良春. 空投安全着陆的实现途径[J]. 包装工程，2007，28(10)：135-137.
YU Cheng-guo，LI Liang-chun. Ways of Air-drop Safety Landing[J]. Packaging Engineering，2007，28(10)：135-137.

[6] 邓春燕，裴锦华. 全向式气囊着陆装置缓冲过程的仿真研究[J]. 中国空间科学技术，2012(1)：78-83.
DENG Chun-yan，PEI Jin-hua. Simulation about Buffer Process of Omni-directional Type Airbag Landing Device[J]. Chinese Space Science and Technology，2012(1)：78-83.

[7] 柯鹏，杨春信. 货台空投系统的三维动画仿真[J]. 系统仿真学报，2006，18(5)：1253-1256.
KE Peng，YANG Chun-xin. Heavy Cargo Airdrop Simulation with 3D Animation[J]. Journal of System Simulation，2006，18(5)：1253-1256.

[8] 刘彬，谷京朝，陈湘平，等. 重物空投着陆过程系统分析与仿真[J]. 空军雷达学院学报，2008，22(2)：136-138.
LIU Bin，GU Jing-chao，CHEN Xiang-ping，et al. Analysis of Heavy Cargo Air-drop System and Its Simulation[J]. Journal of Air Force Radar Academy，2008，22(2)：136-138.

[9] 王红岩，洪煌杰，李建阳，等. 空降车缓冲气囊系统特性仿真及其参数优化方法研究[J]. 兵工学报，2012，33(12)：1461-1466.
WANG Hong-yan，HONG Huang-jie，LI Jian-yang，et al. Research on Simulation and Optimization of Cushion Characteristic of Airbags for Airborne Vehicle[J]. Acta Armamentarii，2012，33(12)：1461-1466.

[10] 冯强，王生. 火星着陆缓冲气囊冲击过程的仿真分析[J]. 计算机仿真，2012，29(11)：126-132.
FENG Qiang，WANG Sheng. Simulation of Attenuating Airbag Impact Dynamics for Mars Landing[J]. Computer Simulation，2012，29(11)：126-132.

[11] 戴华杰，胡振东，咸奎成，等. 火星探测器气囊缓冲系统着陆过程仿真[J]. 力学季刊，2010，31(4)：555-561.
DAI Hua-jie，HU Zhen-dong，XIAN Kui-cheng，et al. Simulation Analysis for Landing Process of a Mars Detector with Airbag Buffer System[J]. Chinese Quarterly of Mechanics，2010，31(4)：555-561.

[12] 卫剑征，谭惠丰，万志敏，等. 缓冲气囊展开与缓冲着陆过程的仿真分析[J]. 航天返回与遥感，2010，31(5)：1-8.
WEI Jian-zheng，TAN Hui-feng，WAN Zhi-min，et al. Sinlulation for Airbag Deploymentand Landing Process of Inflatable Landing Vechiles[J]. Spacecraft Recovery & Romote Sensing，2010，31(5)：1-8.

[13] 衣敬强，郝贵祥，王红岩，等. 高原条件下空投设备气囊系统缓冲过程研究[J]. 中国工程机械学报，2012，10(3)：364-368.
YI Jing-qiang，HAO Gui-xiang，WANG Hong-yan，et al. Cushioning Process Study on Airbag System of on Plateau Airdropped Equipments[J]. Chinese Journal of Construction Machinery，2012，10(3)：364-368.

[14] 何欢，孙东阳，马常亮，等. 多腔体气囊式回收系统的着陆冲击动力学建模与分析[J]. 南京航空航天大学学报，2013，45(1)：8-13.
HE Huan，SUN Dong-yang，MA Chang-liang，et al. Modeling and Simulation of Landing Procedure of Multi-cavity Airbag Cushion Recovery System[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics，2013，45(1)：8-13.

[15] 黄刚，李良春，林健. 着陆气囊的缓冲机理与技术分析[J]. 装备环境工程，2011，8(4)：86-90.
HUANG Gang，LI Liang-chun，LIN Jian. Analysis of Cushion Mechanism and Technology of Landing Airbag[J]. Equipment Environmental Engineering，2011，8(4)：86-90.

[16] 杨卫，齐明思，张皎. 冲压式快速空投硬式气囊缓冲技术研究[J]. 包装工程，2010，31(5)：106-108.
YANG Wei，QI Ming-si，ZHANG Jiao. Research on Punched Quick Airdrop Cushion[J]. Packaging Engineering，2010，31(5)：106-108.