

柱状缓冲空气垫动态刚度研究

郭振斌¹, 陈安军^{1,2}

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 国家轻工业包装制品质量监督检测中心, 无锡 214122)

摘要: 以柱状空气垫为研究对象, 给出了空气垫动态刚度与气垫动态压缩变形量、初始相对内压关系的理论模型。取不同规格初始内压相近, 以及相同规格初始内压不同的空气垫, 通过动态压缩试验, 得到了空气垫的动态刚度, 并与理论模型进行了比较。试验结果表明, 动态刚度的理论预测值较试验值大, 相同规格的空气垫, 随初始相对内压的增加, 动态刚度增大, 初始内压较小时理论值与实验结果吻合较好。

关键词: 柱状空气垫; 动态刚度; 理论模型; 动态压缩试验

中图分类号: TB485.1; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)05-0069-04

On Dynamic Stiffness of Cylindrical Air Cushion

GUO Zhen-bin¹, CHEN An-jun^{1,2}

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. China National Light Industry Package Quality Supervising and Testing Center, Wuxi 214122, China)

Abstract: Cylindrical airbag was studied and a theoretical model was proposed, which redefined the relationships among the dynamic stiffness, initial internal pressure and dynamic compression deformation. Dynamic compression test was carried out to get dynamic stiffness characteristics, through which comparison was made between the models and experimental values of different specifications and initial internal pressures. Experiment results showed that theoretical predicted value of dynamic stiffness is bigger than the tested data; dynamic stiffness increases along with the increase of initial internal pressure. Results from calculation and experiments are in good agreement when the initial internal pressure decreases.

Key words: cylindrical airbag; dynamic stiffness; theoretical model; dynamic compression test

柱状空气垫是一种新型的承载缓冲材料, 因其优异的抗冲击性能、隔振性能, 在产品的缓冲包装中广泛使用。文献[1]对气垫进行了静态压缩试验, 分析表明其本构关系属于正切型。文献[2-3]采用准静态压缩试验, 在几何压缩模型的基础上, 分析了充气压力、结构尺寸对空气垫缓冲性能与承载的影响。文献[4-6]通过堆码、跌落、振动试验对 PS 泡沫、充气垫的缓冲性能作了对比测试, 发现空气垫在低频工况下抗冲击性能及吸振性能较好, 且缓冲性能优于 PS 泡沫塑料。这种新型缓冲材料, 其抗冲击及减振性能与材料的阻尼、刚度等因素相关, 而空气垫的动态刚度特性的研究国内未见报道。

笔者以柱状空气垫为研究对象, 对空气垫进行动态压缩试验, 研究空气垫动态刚度, 并在动态刚度模

型的基础上, 对动态刚度试验值与理论值进行对比, 验证动态刚度理论模型的可行性。

1 动态刚度的理论表征

假设柱状气垫薄膜在压缩过程中不可拉伸, 动态压缩过程中, 气垫内气体状态变化近似为绝热过程, 在空气垫几何模型的基础上, 空气垫的刚度可表征为^[7-9]:

$$K = (p_r + p_a) \left(\frac{V_0}{V} \right)^m \left(\frac{\partial S}{\partial x} - \frac{m}{V} \frac{\partial V}{\partial x} S \right) - p_a \frac{\partial S}{\partial x} \quad (1)$$

式中:

$$V_0 = \frac{1}{4} \pi D^2 l_0 + \frac{1}{6} \pi D^3 \quad (2)$$

收稿日期: 2011-10-26

作者简介: 郭振斌(1988—), 女, 安徽人, 江南大学硕士生, 主攻运输包装。

通讯作者: 陈安军(1962—), 男, 河南潢川人, 江南大学教授, 主要从事包装动力学、机器人动力学及控制的研究。

$$S = \arccos \frac{D-x}{D} \cdot D \cdot \left(l_0 + \frac{\pi}{2} x \right) \quad (3)$$

$$V = \left[\arccos \frac{D-x}{D} \cdot D(D-x) + \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{D-x}{D} \right) \frac{D^2}{2} - \frac{1}{2} (D-x) \sqrt{2Dx-x^2} \right] \cdot \left(l_0 + \frac{\pi}{2} x \right) + \frac{1}{6} \pi (D-x)^3 \quad (0 \leq x \leq x_{\text{极限}}) \quad (4)$$

其中: V_0 为压缩前空气垫体积; S 为压缩过程气垫的有效承压面积; V 为压缩的过程中气垫的体积; p_a 为一个标准大气压; p_r 为气垫内初始相对内压; l_0 为压缩前空气垫柱状部分长度; D 为充气后柱体横截面的直径; x 为压缩行程即压缩变形量, 且满足 $0 < x < x_{\text{极限}}$; m 为多变指数, 当 m 取 1.4 时, 式(1)可表征气空气垫动态压缩刚度, 即动态刚度 $K_{\text{动}}$ 。由式(1)知, 空气垫动态压缩过程的动态刚度与气垫内初始相对内压有关, 同时与气垫几何参数有关, 对给定初始内压及几何形状条件下, 动态刚度可表征为压缩变形量的非线性函数。

2 动态刚度的试验验证

2.1 材料

试验使用内充空气的 PE/PA/PE 膜多气室缓冲气垫, 具体规格参数及初始内压见表 1。

表 1 空气垫的规格参数及初始内压

Tab. 1 The specifications and initial pressure of airbag

规格*	气室数	长度 l /mm	内压 p_r /kPa	厚度 D /mm
30—80	8	165	25.0	17.0
			43.0	17.6
			52.0	18.9
			60.0	21.0
40—80	7	165	30.0	23.2
			42.6	25.0
			64.6	26.0
60—80	5	165	15.2	27.0
			22.4	28.0
			29.0	32.0
			40.0	35.0

*: 规格表示宽度(mm)—膜厚(μm)

2.2 试验设计

2.2.1 设备及标准

试验设备为陕西科技大学研制的冲击试验机(型号为 DY-2); 试验参照 GB 8167—87 包装用缓冲材料动态压缩试验方法。

2.2.2 步骤

分别将待测气垫置于冲击试验机的刚性台面上, 保证材料安放稳定。重锤质量选为 10 kg, 重锤上安装加速度传感器, 试验设置 4 种跌落高度, 设为 h 。由控制设备控制重锤从预定的跌落高度无初速度冲击气垫。每次冲击后, 加速度-时间选项卡上显示加速度-时间波形, 并记录响应加速度数据。为减小数据丢失, 实验设定采样系数为 1, 滤波频率为 3 000 Hz。

2.3 数据处理

40—80 空气垫, 在相同初始相对内压, 落锤质量均为 10 kg 的条件下, 在 300 mm 跌落高度时的 3 次实测加速度响应曲线见图 1, 其中, a_{max} 为最大加速

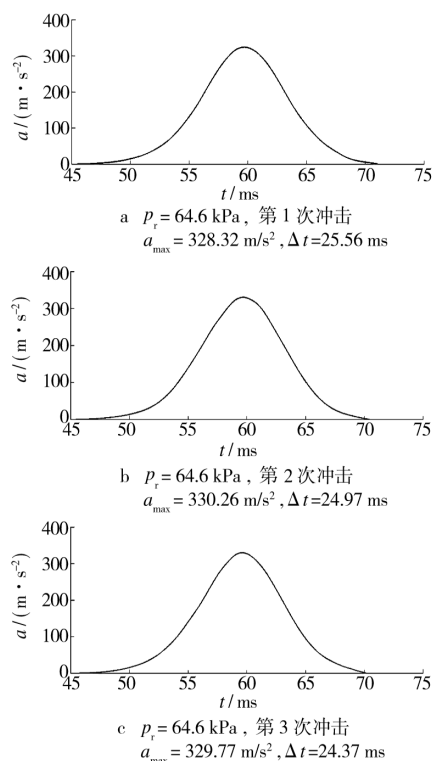


图 1 实测加速度响应曲线

Fig. 1 Measured curve of acceleration response

度, Δt 为冲击持续时间。3 次测量结果表明, 加速度曲线具有良好的重复性。所有的试验加速度结果均通过 3 次重复, 并取平均值。

对实测加速度的信号, 通过积分, 得到位移时间历程, 并根据力与加速度的关系, 由 Matlab 编程转换, 得到动态刚度-位移曲线。

3 动态刚度试验与理论比较

将得到的动态刚度试验值与理论值进行分析, 得

到了气垫的结构参数、初始相对气压及压缩变形量对

动态刚度的影响,见图 2—4。

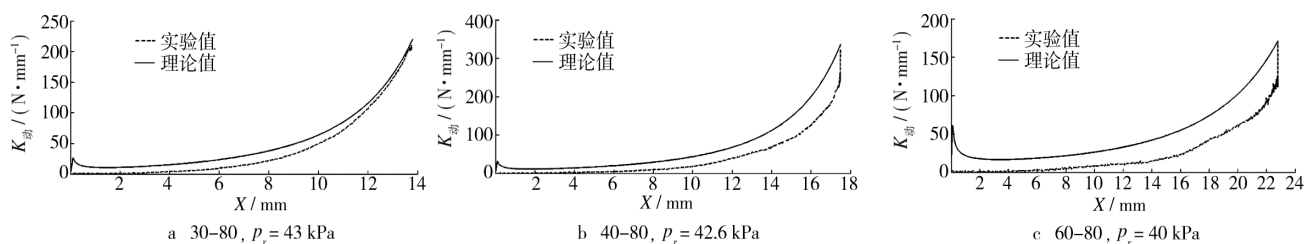


图 2 不同规格相近内压动态刚度试验值与理论值比较

Fig. 2 The comparison between the model and experimental values of dynamic stiffness under approximate initial internal pressure of different specifications

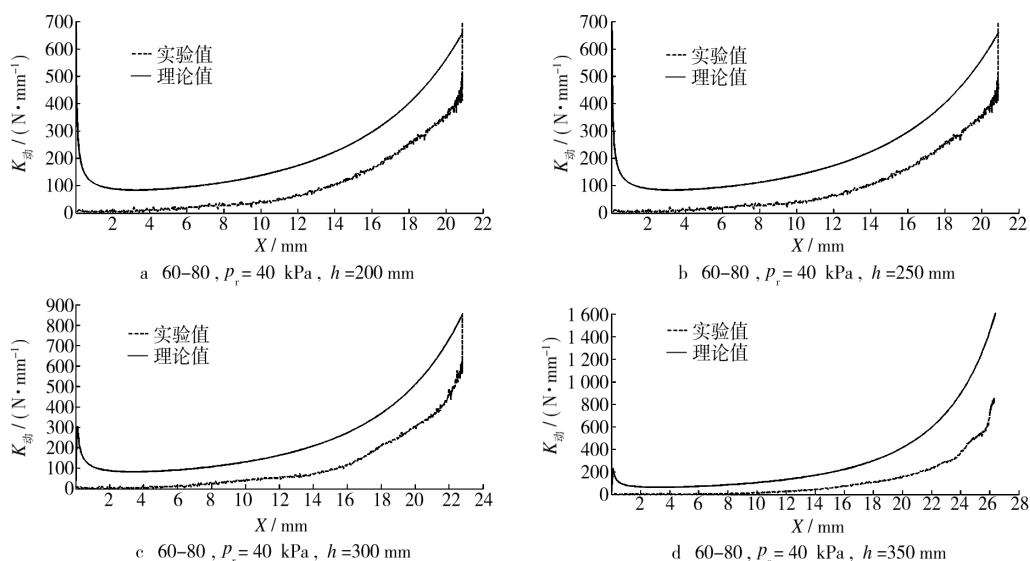


图 3 相同规格不同跌落高度动态刚度试验值与理论值比较

Fig. 3 The comparison between the model and experimental values of dynamic stiffness under different drop height of the same specifications

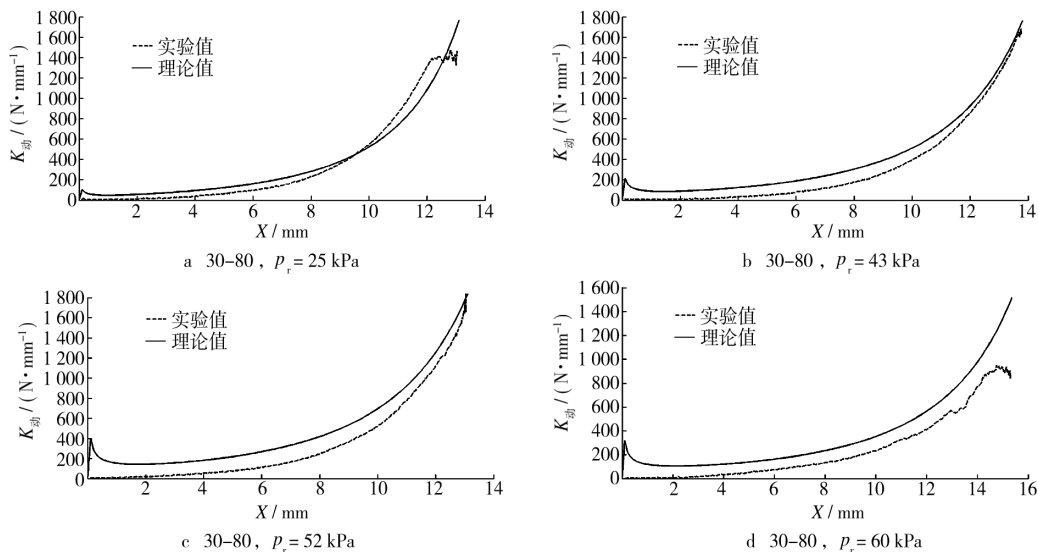


图 4 相同规格不同内压动态刚度试验值与理论值比较

Fig. 4 The comparison between the model and experimental values of dynamic stiffness under different initial internal pressure of the same specifications

4 结语

由图 2 知,相近初始内压条件下,不同规格空气垫动态刚度的理论与试验值趋势相同,理论预测值大于试验值;由图 3 知,随跌落高度的增大,即压缩变形量增加,动态刚度的理论值与试验值偏离增加。其原因可能为随压缩量的增加,气垫内压增加,气垫材料产生变形,使其试验值偏小,但在压缩量较小时,理论值与试验值有较好的吻合;由图 4 知,相同规格 30—80 型空气垫在相同跌落冲击高度条件下,初始相对内压较小时,动态刚度的理论值与试验值吻合较好。

柱状空气垫动态刚度理论预测与试验分析表明,在压缩变形量较小且初始相对内压较小时,动态刚度的理论值可较好地表征空气垫的动态压缩特性。结论对空气垫的缓冲设计具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 郑小林,郑百哲,任力强. 气垫性能及平板玻璃缓冲包装[J]. 包装工程,1991,12(2):62—64.
ZHENG Xiao-lin, ZHENG Bai-zhe, REN Li-qiang. Air-cushion Performance and Cushioning Packaging for Plate Glass[J]. Packaging Engineering, 1991, 12(2): 62—64.
- [2] 任冬远,卢立新. 空气垫几何压缩模型的研究[J]. 包装工程,2008,29(2):12—14.
REN Dong-yuan, LU Li-xin. Research on the Geometry-Modeling of Airbag in Static Compression[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2): 12—14.
- [3] 沈剑锋,卢立新,任冬远. 柱状塑膜空气垫承载与缓冲性能的试验研究[J]. 包装工程,2009,30(6):6—7.
SHENG Jian-feng, REN Dong-yuan, LU Li-xin. Re-

search Loading and Cushioning Performance of Plastic Cylinder Airbag [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(6): 6—7.

- [4] 郝喜海,马力,唐芬南,等. 新型绿色缓冲包装材料及生产设备的研究[J]. 中国包装工业,2000(7):33—36.
HAO Xi-hai, MA Li, TANG Fen-nan, et al. Study on the New Green Cushioning Material and Its Production Facility[J]. China Packing Industry, 2000(7): 33—36.
- [5] 刘功,宋海燕,刘占胜,等. 空气垫缓冲包装性能的研究[J]. 包装与食品机械,2005,23(2):18—20.
LIU Gong, SONG Hai-yan, LIU Zhan-sheng, et al. The Study on Performance of Air Cushion Mats[J]. Packaging and Food Machinery, 2005, 23(2): 18—20.
- [6] 傅静芳. 充气垫作为小型家电缓冲包装的可行性研究[J]. 包装工程,2005,26(5):35—36.
FU Jing-fang. Research of the Possibility to Use Air-Cushion Packaging in Small Household Appliances [J]. Packaging Engineering, 2005, 26(5): 35—36.
- [7] 郭振斌,陈安军. 缓冲空气垫静态刚度研究[J]. 包装工程,2011,32(11):5—7.
GUO Zhen-bin, CHEN An-jun. On the Dynamic Stiffness of Air Cushion[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(11): 5—7.
- [8] 黄映云,吴善跃,朱石坚. 囊式空气弹簧隔振器的特性计算研究[J]. 振动工程学报,2004,17(2):249—252.
HUANG Ying-yun, WU Shan-yue, ZHU Shi-jian. The Characteristics Calculation of Pneumatic Vibration Isolator[J]. Journal of Vibration Engineering, 2004, 17(2): 249—252.
- [9] 朱石坚,黄映云,何琳. 长方体形囊式空气弹簧刚度特性[J]. 中国造船,2002,43(2):36—43.
ZHU Shi-jian, HUANG Ying-yun, He Lin. Study on Stiffness Characteristics for Rectangular Air Springs[J]. Shipbuilding of China, 2002, 43(2): 36—43.

(上接第 21 页)

- [7] 颜嘉男. 伺服电机应用技术[M]. 北京:科学出版社,2010.
YAN Jia-nan. Servo Motor Application Technology[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [8] ILINSKI N F. A New Approach to Acmotor Selection and Checking[J]. Electrical Machines and Drives, 1995(9): 11—13.
- [9] CETINKUNT S. Optimal Design Issues in High-Speed High Precision Motion Servo Systems[J]. Mechatronics, 1991(1): 187—201.
- [10] Van de STRAETE H J, De SCHUTTER J, BELMANS

- R. An Efficient Procedure For Checking Performance Limits In Servo Drive Selection And Optimization[J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 1999, 4(4): 378—386.
- [11] ROOS F. Optimal Selection of Motor and Gearhead in Mechatronic Applications[J]. Mechatronics, 2006(16): 63—72.
- [12] PASCH K A, SEERING W P. On the Drive Systems for High-Performance Machines[J]. ASME J Mechanisms Transmission Automation Des, 1984(3): 102—108.