

圆柱形塑膜空气垫的本构关系及缓冲特性分析

江太君, 刘跃军, 曾广胜, 徐成, 徐超

(湖南工业大学包装新材料与技术重点实验室, 先进包装材料与技术湖南省普通高校重点实验室, 湖南 株洲 412007)

摘要: 基于材料力学和物理学基本理论推导并分析了圆柱形空气垫缓冲包装材料的本构关系和弹性比能表达式, 并在此基础上分析材料比能的各影响因素。试验结果表明: 在径向受载条件下, 材料的应力-应变曲线表现出典型的指数型非线性特征, 弹性模量随空气垫内冲气压力的增加而升高, 但其单元横截面直径对其影响很小; 随着充气压力的增加, 材料的弹性比能在大应变条件下迅速降低, 而在低应变条件下表现并不明显。

关键词: 圆柱形; 空气塑膜垫; 振动传递; 位移响应

中图分类号: TB485.1; TB487

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2010)04-0027-03

Constitutive Relationship and Cushioning Properties of Cylindrical Air Cushion Mats

Jiang Taijun, Liu Yuejun, Zeng Gangsheng, Xu Cheng, Xu Chao

(Key Laboratory of New Materials and Technology for Packaging, Key Laboratory of Advanced Materials and Technology for Packaging of Hunan Colleges and Universities, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Constitutive relationships and elastic specific energy of cylindrical air cushion mats were derived and analyzed on the base of mechanical and physical theories. The investigation of their influencing factors was also carried out. The results show that: the stress-strain curve is observed as an exponentially under radial load and the elastic specific energy increase with the climbing inner pressure, but is affected little by the section area. the elastic specific energy of the material decreases dramatically with the upswing of the inner pressure, but exhibits unobvious at low strain.

Key words: cylindrical; air cushion membrane mats; vibration transmission; displacement response

0 引言

缓冲材料是缓冲包装发展的基础, 人们最初利用稻草、稻壳、刨花等填充包装件间的间隙以对包装件起缓冲作用。随着科学技术的发展, 各种新材料与新技术逐渐被应用到物流与销售包装过程中, 其中最典型的是泡沫塑料、纸浆模塑、瓦楞纸板、蜂窝纸板、空气垫缓冲材料等。空气垫缓冲材料作为一种新型包装材料, 其结构与技术现已广泛应用于工民用领域。前

人从理论与实验的角度对空气垫缓冲材料做了较多研究。如任东远等^[1]人以空气垫为研究对象基于已有圆柱压缩模型, 提出了新的空气垫几何模型, 并得到了不同规格的空气垫压缩后的接触面积和压缩载荷特性; 郝喜海等^[2]人通过实验对比了空气垫和PS泡沫2种缓冲包装材料的缓冲性能, 并发现空气垫在低频振动条件下吸震效果较好, 抗冲击性能也好于PS泡沫塑料; 刘功等^[3]人以空气垫和PS泡沫缓冲材料为研究对象, 得出空气缓冲垫缓冲性能与其内部的气体填充

收稿日期: 2010-08-15

基金项目: 湖南省自然科学杰出青年基金资助项目(07JJ1001), 湖南省自然科学基金资助项目(09JJ6083), 湖南省教育厅基金资助项目(08C278)

作者简介: 江太君(1983-), 男, 湖北襄樊人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为包装动力学与高分子材料成型加工工程, E-mail: jiangtaijun@126.com

量、尺寸、薄膜对填充气体的阻隔性能有关的结论。

在包装件实际运输过程中,缓冲包装材料对外界振动激励的响应特性在评价其缓冲性能时特别重要,而其本构关系、弹性比能是研究材料缓冲特性的基础。本文在前人已有工作^[1-5]基础上,考察不同几何参数和外界参数对空气垫的本构关系与弹性比能的影响,以期可有效指导该类缓冲包装材料的设计与应用。

1 物理模型

1.1 轴向压力下的变形

在正常状态(即没有外力作用)下,圆柱形塑膜空气垫由若干个柱状单元构成,各构成单元之间由起连接作用的双层塑料薄膜热压而成。为简化分析过程而又不失一般性,我们假设空气垫单元的长度相对于其半径足够大,于是可忽略空气垫

两端的边缘效应,并采用Esgar^[4]塑膜空气垫材料为非弹性的假设,将其简化成如图1所示的横截面形式。此时被压缩的两侧仍为圆弧形,且其长度保持不变。

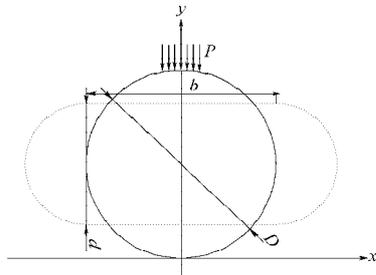


图1 空气垫横截面变形图

Fig. 1 Deforming sketch of air cushion mat under axial pressure

如图1所示:当空气垫单元沿y轴方向受压时,其在x轴方向的变形是自由的,于是其圆形截面变为如图1所示截面形状,此时外界与空气垫的受力面积和体积可表示为: $S = bL = \pi yL/2$, $V = (\pi d^2/4 + db) \cdot L$ 。式中:y为空气垫在y轴方向发生的位移, V 、 S 分别为空气垫单元变形后的体积与横截面面积, d 为变形后被压两侧横截面半圆弧的直径, b 为压缩后空气垫单元与外界接触长度,亦为在其横截面方向的受力长度, D 为空气垫正常情况下直径, L 为空气垫的长度。

1.2 空气垫单元内压力

由克拉珀龙方程可求得发生这种变形后空气垫单元内部压力为: $P' = P_0 \frac{\pi D^2/4}{\pi d^2/4 + (D-y)b}$, (1) 进而可求得空气垫缓冲材料所受的压缩力为:

$$F = P'dL = P_0 \frac{\pi D^2/4}{\pi d^2/4 + (D-y)b} dL。$$

1.3 缓冲特性分析

为了研究不同结构与充气量对空气垫缓冲特性的影响,我们采用材料的本构关系与弹性比能 u 作为评

价标准,其中本构关系是指材料应力与应变之间的定量关系,则弹性比能可表示为: $u = \int_0^{\epsilon_m} \sigma d\epsilon$, (2)

式中: σ 为应力,其值为在一定变形条件下空气缓冲垫内气体的压强 P' ; ϵ 为应变, ϵ_m 为包装件从高度为 H 处跌落至缓冲垫时缓冲材料所产生的最大应变,其值等于应力-应变曲线下方的面积。其中应变 ϵ 可表示为:

$$\epsilon = y/D, (3)$$

而对于包装件,其跌落高度 H 并不是固定不变的。不失一般性,本文假设所讨论的空气缓冲垫的最大应变 ϵ_m 固定为0.5,这样并不会影响对后续结果的讨论。将式(1)与式(3)代入式(2)可得弹性比能的表达式

$$u = \int_0^{0.5} P_0 \frac{\pi D/4}{\pi d^2/4 + (1-\epsilon)b} d\epsilon。 (4)$$

本文采用单变量控制法分析充气压力分别为41, 51, 61 kPa,空气垫单元截面直径分别为30,40,45,50 mm,长度为150 mm的圆柱形空气垫的本构关系与缓冲特性。

2 结果与讨论

2.1 圆柱形空气垫的本构关系

图2和3给出了不同形状结构的空气垫缓冲材料在不同气体填充量的条件下的应力-应变曲线。

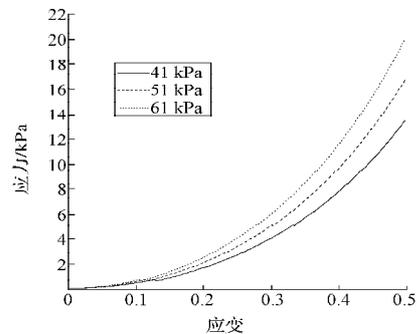


图2 充气压力对空气垫本构关系的影响

Fig. 2 Effect of pressure on constitutive relationship of air cushion mats

图2中空气垫的截面直径为40 mm,长度为150 mm,充气压力分别为41,51,61 kPa。从图2中可看出,空气垫缓冲材料具有典型的非线性特征,且呈指数形式分布,图中曲线的斜率表示材料在相应应变条件下的弹性量。可发现弹性量随材料应变的增加而增大,即该材料具增压硬化的特点。从图2还可看出,材料的模量随着空气垫内填充气体压力的增加而升高。这主要是因为材料在受压变形过程中,材料的结构(主要是单元横截面和体积)发生了非线性的变化,进而引起空气垫内压缩气体压力的变化;另一方面,材料在压缩过程中其与外界接触面积也不断发生改变,这双

重因素导致了材料应力应变曲线的非线性变化。

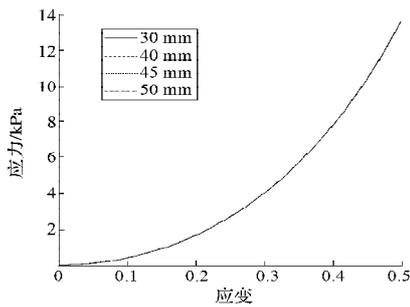


图3 截面直径对空气垫本构关系的影响

Fig. 3 Effect of section diameter on constitutive relationship of air cushion mats

图3是充气压力为41 kPa时具有不同截面直径的空气垫的本构关系,截面直径分别取为30,40,45,50 mm。可以看出截面直径并不会影响该材料本构关系。

2.2 弹性比能

图4和5分别显示了不同充气量与截面直径对材料弹性比能的影响规律,其条件分别与图2和3相同。

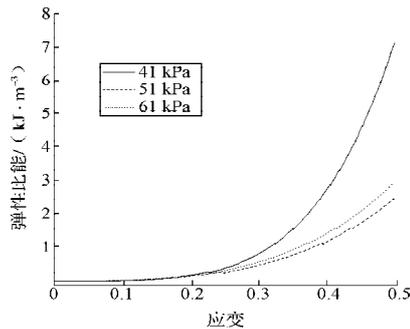


图4 充气压力对空气垫弹性比能的影响

Fig. 4 Effect of pressure on elastic specific energy of air cushion mats

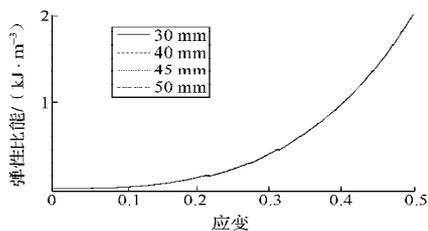


图5 截面直径对空气垫弹性比能的影响

Fig. 5 Effect of section diameter on elastic specific energy of air cushion mats

从图4可看出,充气量对材料弹性比能的影响比较大,在低应变条件下弹性比能没有太大差别,但在高应变条件下,弹性比能随着充气量的增加而大幅度降低。弹性比能是反应材料吸收震动能力的重要参数,当充气量大时,材料内部压强升高,促使材料“硬化”,弹性模量也迅速升高,从而缓冲效果明显降低。

图5是截面直径对空气垫缓冲材料弹性比能的影响,可看出截面直径对其弹性比能无影响。材料截面直径的增加只是表观上增加了空气垫的体积,从而改变了其应用范围,而不会对材料吸收冲击能量的特性(弹性比能)产生大的影响。但在分析过程中我们假定塑料薄膜为非弹性材料,而实际上其弹性还不小,随着空气垫单元体积的增加,材料在内压作用下发生的形变会相应增加,内压降低,材料的弹性模量降低,弹性比能提高,缓冲特性有一定程度的改善。

3 结论

圆柱形空气垫是一种应用广泛的缓冲包装材料,经研究发现:1)圆柱形空气垫在径向受载条件下表现出典型的非线性力学特性,其横截面直径对其本构特性影响不大;但充气压力可以有效提高材料在相同条件下的弹性模量;2)随着充气压力的增加,弹性比能在大应变条件下迅速降低,但在低应变条件下影响不大,而横截面直径对其影响很小。

参考文献:

- [1] 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 Dongyuan, Lu Lixin. Research on the Geometry Modeling of Airbag in Static Compression[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2): 12-14.
- [2] 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]. 包装工程, 2000, 21(5): 10-13.
Hao Xihai, Ma Li, Tang Fennan, et al. Study on the New Green Cushioning Material and Its Production Facility[J]. Packaging Engineering, 2000, 21(5): 10-13.
- [3] 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 Haiyan, Liu Zhansheng, et al. The Study on Performance of Air Cushion Mats[J]. Packaging Engineering, 2005, 23(2): 18-20.
- [4] Esgar J B, Morgan W C. Analytical Study of Soft Landing on Gas-Filled Bags[R]. Ohio: NASA, 1960.
- [5] 沈剑锋, 卢立新, 任冬远. 柱状塑模空气承载与缓冲性能的试验研究[J]. 包装工程, 2008, 29(6): 6-7, 26.
Shen Jianfeng, Lu Lixin, Ren Dongyuan. Research on Loading and Cushioning Performance of Plastic Cylinder Airbag[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(6): 6-7, 26.

(责任编辑: 廖友媛)