

技术专论

二次加载时蜂窝纸板的缓冲性能研究

王保升, 张 丽

(南京工程学院, 南京 211167)

摘要: 依据蜂窝纸板初次压缩应力-应变曲线, 设计了预压方案, 研究了二次加载时蜂窝纸板的静态缓冲性能, 并与初次加载时的缓冲性能进行了对比分析。结果表明: 弹性预压对二次加载时缓冲系数曲线影响较小, 塑性平台预压对缓冲系数曲线的影响较为显著; 蜂窝纸板的最小缓冲系数随着预压量的增大而线性增大; 弹性预压下, 缓冲系数稳定时的应变随预压量的增加而增大, 而塑性平台预压下, 则随预压量的变大而减小; 缓冲系数的波动幅度随预压量增加而逐渐减小, 预压至塑性平台时, 波动消失。研究为蜂窝纸板在多次冲击状况下的应用提供了理论基础。

关键词: 蜂窝纸板; 缓冲性能; 二次加载; 预压

中图分类号: TB484.1; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)15-0062-04

Research on Cushioning Performance of Honeycomb Paperboard under the Second Load

WANG Bao-sheng, ZHANG Li

(Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: A scheme of preloading was designed according to stress-strain curve of honeycomb paperboard under the first compression. The static cushioning performance of honeycomb paperboard under the second load was studied and compared with the performance under the first compression. The results showed that elastic preloading has less influence on cushioning coefficient curve; the effect of preloading to platform area on cushioning coefficient is significant; the minimum cushioning coefficient increases with the increase of preloading; the strain at which cushioning coefficient becomes stable increases with the elastic preloading, but decreases with preloading at platform area; the fluctuation range of cushioning coefficient decrease with preloading, and fluctuation disappears when preloading to platform area. The purpose of this research was to provide theoretic foundation for application of honeycomb paperboard under repeated impact condition.

Key words: honeycomb paperboard; cushioning performance; second load; preloading

蜂窝纸板作为一种绿色包装材料, 由于采用蜂窝结构, 故具有质量轻、承重能力强等优点。近些年来, 由于环境保护方面的要求, 蜂窝纸板在包装领域中也得到了广泛的应用。尤其是在电子产品、机电产品、家用电器等的缓冲包装领域有着广阔的应用前景^[1]。为了更好地设计出合适的蜂窝纸板缓冲包装件, 延展蜂窝纸板的工程应用范围, 有必要对蜂窝纸板的力学性能进行深入研究。

王梅^[2]、张改梅^[3]、郭彦锋^[4]通过试验研究了不同厚度的蜂窝纸板的静态缓冲性能; 张丽^[5]、Dongmei Wang^[6]、辛成龙^[7]研究了厚度、孔径大小、芯纸定量等因素对蜂窝纸板缓冲性能的影响, 并建立了缓冲系数随厚度、孔径大小及定量变化的函数关系。上述研究获得了蜂窝纸板初次加载时的缓冲性能, 为蜂窝纸板在缓冲包装中的应用提供了基础, 但是, 在实际流通中, 包装件会经受多次冲击, 因此, 蜂窝纸板会

收稿日期: 2011-06-10

作者简介: 王保升(1978—), 男, 山东菏泽人, 南京工程学院讲师, 主要研究方向为运输包装、包装设备数字控制技术。

产生不同程度的变形,其缓冲性能会发生明显变化。为此,李厚民^[8]分析了二次加载时蜂窝纸板的缓冲性能,但文献中对蜂窝的预压缩均是直接压缩到蜂窝纸板的塑性变形区,未对预压缩到不同变形阶段进行对比研究。刘晶^[9]分析了不同预压程度下蜂窝纸板的动态缓冲性能,但只预压到屈服阶段之前。笔者对不同预压程度的蜂窝纸板的缓冲性能进行研究,分析二次加载时缓冲性能变化规律,为蜂窝纸板的工程应用提供理论基础。

1 试验

1.1 试样

南京皓尼蜂窝技术研究所提供的蜂窝纸板,正六角形蜂窝边长为 8 mm;面纸定量为 200 g/mm²,芯纸定量为 120 g/m²;蜂窝纸板规格为 100 mm×100 mm,纸板厚度为 30 mm;试样经过不同程度的预压。

1.2 条件

温度 23 ℃;相对湿度 65%;压缩速度为 10 mm/min。

1.3 标准与方法

为研究二次加载时蜂窝纸板的缓冲性能,首先对蜂窝纸板进行初次压缩直至压溃,然后依据蜂窝纸板的应力-应变曲线,对多组试样分别进行预压处理,压缩到不同的应变阶段,并放置 24 h,最后对经过预压处理的试样进行压缩试验直至压溃。

压缩试验均依据 GB/T 8168—2008 包装用缓冲材料静态压缩试验方法中的 A 法,采用 WDW3020 微控电子万能试验机进行试验;试样按照 GB/T 4857.2—9 包装温湿度调节处理中规定的方法,利用 HC—302K 型恒温恒湿箱进行预处理。

1.4 预压方案设计

蜂窝纸板初次压缩时的应力-应变曲线见图 1。依据图 1,设计 6 组初次预压方案,见表 1,分别获得 6

表 1 试样预压处理

Tab.1 Preloading of the samples

试样	预压应变/%	试样	预压应变/%
A	5	D	18
B	6.7	E	40
C	8.3	F	60

组不同预压程度的试样。其中 A 和 B 被压缩至弹性阶段,C 被压缩至弹性阶段的临界点,D 被压缩到弹塑

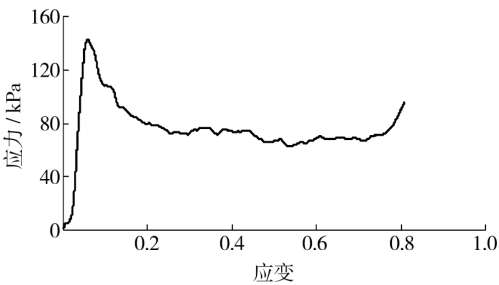


图 1 初次压缩时蜂窝纸板的应力-应变曲线
Fig.1 Stress-strain curve of the honeycomb paperboard under the first compression

性阶段,E,F 被压缩到塑性平台阶段^[6]。为便于描述,文中分别称为弹性预压、弹塑性预压、塑性平台预压。

2 试验结果及数据处理

对 6 组试样进行试验,并依据二次加载前的蜂窝纸板厚度,得到应力-应变曲线,见图 2。

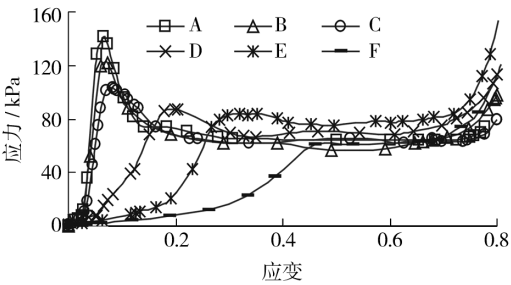


图 2 二次加载时的应力-应变曲线
Fig.2 Stress-strain curves under second load

包装材料的缓冲性能可由缓冲系数或单位体积形变能表征,采用静态缓冲系数来描述,缓冲系数越小表明缓冲性能越好,其计算公式为:

$$C = \frac{\sigma}{\int_0^{\epsilon_m} \sigma d\epsilon} = \sigma/E \tag{1}$$

式中:C 为缓冲系数; σ 为应力; ϵ 为应变; $E = \int_0^{\epsilon_m} \sigma d\epsilon$ 为单位体积缓冲材料的形变能,在应用过程中,近似计算公式为:

$$E_i = \frac{1}{2} \sigma_1 \epsilon_1 + \frac{1}{2} \sum_{j=2}^i (\sigma_{j-1} + \sigma_j)(\epsilon_j - \epsilon_{j-1}) \tag{2}$$

利用式(1)和(2)可以计算缓冲材料在各压缩状态下的缓冲系数,并建立缓冲系数-应变曲线,见图 3。

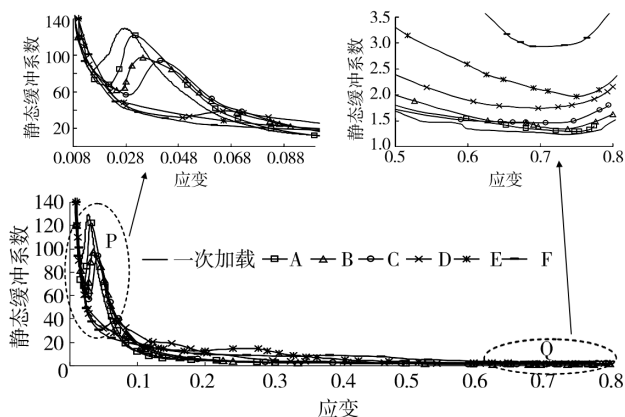


图3 二次加载时的静态缓冲系数-应变曲线

Fig. 3 Static cushioning coefficient-strain curves under the second load

3 结果分析

3.1 二次加载时缓冲系数的变化

3.1.1 弹性预压试样缓冲系数变化

1) 由图3可看出,A,B,C 3个试样的静态缓冲系数曲线与初次加载时的缓冲系数曲线具有较高的一致性,存在显著波动。

2) 在开始阶段缓冲系数急剧减小,直至减小到第一个极小值。随着应变继续增大,缓冲系数又迅速增大到局部峰值,此时蜂窝纸板所受到的应力也达到了弹性阶段的临界应力值。在该段曲线上,蜂窝纸板表现出了弹性和弹塑性缓冲材料的特征。该段曲线上出现的极小值点表明蜂窝纸板的缓冲性能在该应变区域内达到最优,但此时的缓冲系数仍高达60以上,这说明在这一应变区间,蜂窝纸板具有较差的缓冲性能,应用过程中难以起到保护内装物的作用。

3) 当应变进一步增大,即蜂窝纸板在应力作用下,出现屈服开始发生坍塌,缓冲系数急剧下降,并逐渐趋于平缓。造成这一现象的主要原因为:在坍塌的开始阶段,单位体积的变形能仍在不断增大,且应力急剧减小,因此缓冲系数减小的速率比较大;随着坍塌的进一步发生,蜂窝纸板的应力-应变曲线逐渐进入平台区,虽然单位体积的变形能会进一步增大,但应力趋于稳定,因此缓冲系数减小的速率会明显降低,并进入稳定变化区域。

4) 当应变增大到0.7~0.8之间时,静态缓冲系数继续减小,并出现了第2个极小值,之后随着应变

增大而增大。这主要是由于蜂窝纸板完全坍塌后进入密实化区,应力急剧增大,单位体积的变形能增大比较缓慢,因此缓冲系数开始增大。

3.1.2 弹塑性预压试样缓冲系数的变化

由试样D的缓冲系数变化曲线可以看出,缓冲系数仍存在一定的波动,但波动幅度较小,出现的局部峰值远远小于一次加载时的局部峰值。

3.1.3 塑性平台预压试样缓冲系数的变化

由E,F试样的缓冲系数曲线可看出,蜂窝纸板的缓冲曲线是一条平滑的曲线,缓冲系数随着应变的增大而减小到最小值,之后随着蜂窝纸板进入密实化阶段,缓冲系数开始增大,缓冲性能降低。

3.2 预压对最小缓冲系数的影响

最小缓冲系数是材料最优缓冲性能的表征,是缓冲设计的重要依据。由图3中Q区域的放大图可以得出,每个试样的最小缓冲系数见图4。初次加载

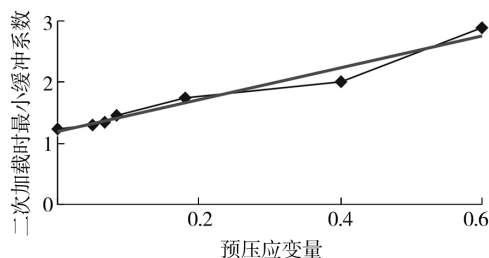


图4 最小缓冲系数变化曲线

Fig. 4 Variation curve of minimum cushioning coefficient

时,A,B,C,D,E,F试样的最小缓冲系数分别为1.23,1.30,1.35,1.45,1.75,2.0,2.9。随着预压应变增大,蜂窝纸板的最小缓冲系数逐渐增大,并与预压应变近似呈线性关系。这说明二次加载时蜂窝纸板的缓冲性能比初次加载时差,预压越大,二次加载时缓冲性能越差。

3.3 预压对缓冲系数稳定时应变的影响

在工程应用中,当蜂窝纸板的缓冲系数较小时才能起到有效缓冲作用。由图3可获得二次加载时蜂窝纸板缓冲系数趋于稳定(即变化非常缓慢)时对应的应变,见图5。初次加载时,A,B,C,D,E,F试样缓冲系数趋于稳定时的应变分别为0.1,0.11,0.115,0.12,0.075(0.18),0.07,0.06。

由图5可以看出,弹性预压时,随着预压增大,蜂窝纸板在二次加载时缓冲系数趋于稳定时的应变逐渐增大;塑性平台预压时,随着应变的增大,缓冲系数

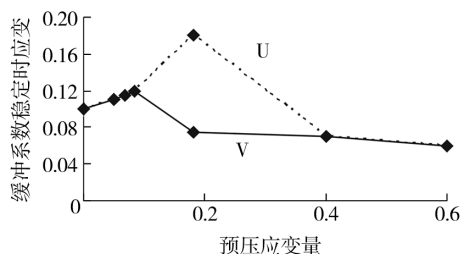


图5 缓冲系数稳定时应变的变化曲线

Fig. 5 Variation curve of strain at which cushioning coefficient become stable

稳定时对应的应变减小;弹塑性预压时,二次加载时蜂窝纸板缓冲系数的稳定性很难确定,考虑缓冲系数的波动,则应变增大(U点),忽略波动时,则应变减小(V点),这主要取决于波动幅度是否可被忽略。说明了弹性预压使蜂窝纸板进入有效缓冲阶段更慢,塑性平台预压有利于蜂窝纸板更快地进入有效缓冲,有利于提高蜂窝纸板的缓冲性能。

3.4 预压对缓冲系数波动的影响

为合理地描述缓冲系数的波动,以缓冲系数曲线的局部峰值与第1个极小值的差值来表示缓冲系数波动幅度,见图6,初次加载时,A,B,C,D,E,F试样缓冲系数波动幅度分别为48,44,40,38,7,0,0。

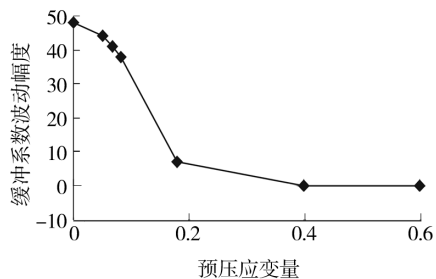


图6 缓冲系数波动幅度

Fig. 6 Fluctuation range of cushioning coefficient

由图6可以得出,弹性预压时,蜂窝纸板在二次加载时缓冲系数的波动幅度随预压量的增大而减小,且减小的速率增大,但波动幅度与初次压缩相比没有明显的减小,这主要是因为弹性阶段的应变范围太小。弹塑性预压时,波动幅度显著减小,但仍旧存在,这是因为该阶段应力未下降到平台应力。塑性平台预压时,波动幅度为0,波动消失。

4 结论

1) 二次加载时,蜂窝纸板的缓冲性能与预压量

有较大的关系。在弹性预压作用下,蜂窝纸板的缓冲性能未有显著变化,与初次加载时蜂窝纸板的缓冲性能具有较高的一致性。在塑性平台预压作用下,蜂窝纸板的缓冲性能发生了显著变化。

2) 与初次加载相比,二次加载时蜂窝纸板的最小缓冲系数增大,并随预压增大而线性增大。

3) 弹性预压增大了蜂窝纸板在二次加载时进入优良缓冲区间所对应的应变,从而减缓了蜂窝纸板进入良好的工作状态;塑性平台预压使蜂窝纸板直接进入塑性平台阶段,从而更早、更好地进入良好工作状态。

4) 弹性预压对缓冲系数波动幅度影响较小,能显著减小波动幅度,而塑性平台预压则消除了波动。

5) 预压对蜂窝纸板缓冲性能的作用应依据工程应用实际来分析,简单的判定提高或者降低了缓冲性能并不合适。一方面预压增大了最小缓冲系数,降低了缓冲性能,有可能使缓冲效果达不到设计时的要求;另一方面,预压又可以减小缓冲系数稳定时对应的应变,使蜂窝纸板更快地进入良好缓冲状态。因此,二次加载时蜂窝纸板是否具有良好的缓冲性能与缓冲设计时选取的缓冲系数具有很大关系,这也是工程设计中应该考虑的一个重要问题。

参考文献:

- [1] 张志昆. 相对湿度对蜂窝纸板静态压缩特性影响的试验研究[J]. 包装工程, 2008, 29(9): 12-13.
- [2] 王梅. 蜂窝纸板缓冲性能的研究及应用[J]. 包装工程, 2000, 21(4): 5-9.
- [3] 张改梅. 蜂窝纸板缓冲性能的研究[J]. 包装工程, 2001, 22(5): 7-9.
- [4] 郭彦峰, 张景绘, 许文才, 等. 蜂窝纸板及其缓冲衬垫缓冲特性研究[J]. 包装工程, 2002, 23(5): 110-112.
- [5] 张丽, 武华, 王保升. 蜂窝纸板静态缓冲性能的影响因素分析[J]. 包装工程, 2010, 31(12): 7-9.
- [6] WANG Dong-mei. Impact Behavior and Energy Absorption of Paper Honeycomb Sandwich Panels[J]. International Journal of Impact Engineering, 2009, 36: 110-114.
- [7] 辛成龙, 郭彦峰. 蜂窝纸板静态缓冲特性的实验研究与分析[J]. 包装工程, 2008, 29(1): 56-58.
- [8] 李厚民, 姜久红, 周金枝, 等. 蜂窝纸板二次加载缓冲性能研究[J]. 湖北工业大学学报, 2007, 22(4): 70-72.
- [9] 刘晶, 刘乘, 陈满儒. 不同预压程度下蜂窝纸板动态缓冲特性的研究[J]. 包装工程, 2010, 31(13): 45-46.