

瓦楞纸板托盘承载能力与缓冲性能

李琛, 李姊静

东北林业大学工程技术学院, 哈尔滨 150040

摘要 通过实验测试,研究了不同结构多层瓦楞纸板托盘的抗弯强度、抗压强度及缓冲性能。结果表明,多层瓦楞纸板楞向平行且为纵向层合时,其抗弯强度最大,最大抗弯强度与纸板层数之间满足线性关系;单层瓦楞纸板的垂直抗压强度大于平行抗压强度且大于平面抗压强度,随着瓦楞纸板层数的增加,其垂直抗压强度及平行抗压强度增加,平面抗压强度减小;多层瓦楞纸板脚墩的垂直方向承载能力较强,缓冲性能较差,采用多层瓦楞纸板与EVA泡沫组合型式可提高其缓冲性能,当脚墩中EVA材料厚度占脚墩总厚度的3/5,瓦楞纸板厚度占脚墩总厚度的2/5时,脚墩的缓冲效率与抗压强度达到最优。

关键词 多层瓦楞纸板;承载能力;缓冲性能

中图分类号 TB484.1, TB485.3

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.07.010

Carrying capacity and cushioning performance of multi-layer corrugated pallets

LI Chen, LI Zijing

College of Engineering and Technology, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract This paper studies the carrying capacity and cushioning performance of multi-layer corrugated pallets with different structures to improve their cushioning performance. The bending resistance, compressive strength and cushioning performance of different structures of multi-layer corrugated pallets were analyzed by means of bending test, pressure test and compression test. The results show that multi-layer corrugated fiberboards have the maximum bending resistance when the corrugation is in parallel direction and the fiberboards are in longitudinal lamination, which is consistent with the linear relation between the maximum bending resistance and layer numbers. Vertical compressive strength of multi-layer corrugated fiberboards was greater than parallel compressive strength, which was greater than plane compressive strength, and vertical compressive strength and parallel compressive strength increased with the increase of layers, but plane compressive strength decreased. Vertical carrying capacity of foot piers was high, but their cushioning performance was unsatisfactory. Multi-layer corrugated fiberboards and EVA foam were combined to improve the cushioning performance. When the EVA foam accounted for 3/5 and the multi-layer corrugated fiberboard accounted for 2/5 of the total thickness of a foot pier, the cushioning efficiency and compressive strength of feet piers reached optimal. This paper may provide references for production of multi-layer corrugated pallets.

Keywords multi-layer corrugated fiberboards; carrying capacity; cushioning performance

瓦楞纸板托盘具有绿色环保、通关便利、轻质高效、成本低等优点,已逐渐成为商品托盘的最佳形式之一^[1-3]。目前国内外对于瓦楞纸板托盘力学性能的研究尚不多见。Masood等^[4]研究托盘的不同材料对托盘稳定性的影响,得出用瓦楞

纸板材料、塑木材料以及这两种材料的复合材料做出的托盘稳定性优良。许文才等^[5]对不同结构的瓦楞纸板托盘进行测试,得出压力实验参数,为瓦楞纸板托盘结构设计和应用选择提供了依据。王宝霞^[6]采用理论分析与实验验证相结合的

收稿日期:2014-09-15;修回日期:2015-02-17

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目(2572014CB09)

作者简介:李琛,博士,研究方向为运输包装技术,电子邮箱:lichen_nefu@163.com;李姊静(共同第一作者),硕士研究生,研究方向为运输包装技术,电子邮箱:1018557289@qq.com

引用格式:李琛,李姊静.瓦楞纸板托盘承载能力与缓冲性能[J].科技导报,2015,33(7):61-66.

方法对瓦楞纸板托盘的挠度、脚墩承重、抗压强度及复合结构的抗疲劳能力进行了分析。刘映平^[7]对瓦楞纸板托盘的不同方向设计了4种抗压实验,对其抗压强度进行测试,并对提高瓦楞纸板托盘抗压强度提出建议。徐长妍等^[8]对不同楞型的瓦楞纸板进行组合,研究环境湿度对组合结构抗弯性能的影响,对研究瓦楞纸板的抗弯能力提供了依据。由于目前对瓦楞纸板托盘的研究还处于起步阶段,对瓦楞纸板托盘结构力学性能的研究也很少,致使瓦楞纸板托盘在实际生产应用过程中无据可依^[9-11]。为提高瓦楞纸板托盘在运输过程中的承载能力,本文分析瓦楞纸板托盘的抗弯强度、抗压强度及缓冲性能。

1 实验方法

1.1 材料及尺寸

实验采用AB型瓦楞纸板,厚度约7 mm,定量570 g/m²; 乙烯-醋酸乙烯(EVA)泡沫,密度120 kg/m³。

国家标准规定的托盘尺寸为1200 mm×1000 mm,实际应用的托盘尺寸为国标尺寸的倍数或约数^[12]。实验参照实际托盘结构,尺寸为300 mm×250 mm(国标尺寸的1/4),托盘由铺板和脚墩两部分组成,铺板由楞向平行的多层瓦楞纸板构成,脚墩由楞向垂直的多层瓦楞纸板构成,纵梁式结构^[13]。

1.2 设备及方法

1.2.1 抗弯强度实验

抗弯强度是指瓦楞纸板托盘的铺板发生弯曲破裂时所能承受的最大压力,单位为N。当托盘被叉举时,其承载能力主要取决于托盘铺板的抗弯强度。

实验采用ZXYD型电子式整箱压缩实验机,参照《ISO 5628—1990纸和纸板弯曲强度静态测定法一般原则》对铺板进行三点抗弯测试。试样处理环境为标准大气压,温度(23±1)℃。上压板的运行速度为12 mm/min,对铺板均匀施加压力,记录压力(F)及压板位移(变形量 x),直至试样发生破裂,或者压力或压板位移达到预定值为止。

分别测试1~6层瓦楞纸铺板及其不同层合结构时的抗弯性能。对于多层瓦楞纸铺板,其层合有单一方向及纵横交错方向2种结构。

单层铺板纵向抗弯与横向抗弯:瓦楞纸板的单一抗弯方向有纵向(MD)及横向(TD),MD与TD三点抗弯强度测试如图1所示。

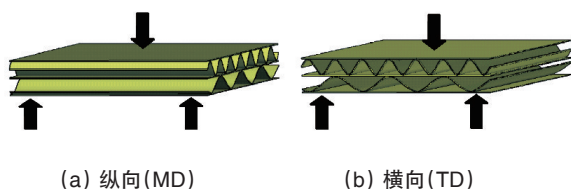


图1 三点抗弯强度测试示意

Fig. 1 Three-point bending diagram

多层瓦楞纸板不同层合结构:对于双层瓦楞纸板,其层合结构有2MD、2TD、1MD1TD(纵横交错方向)3种;对于3层瓦楞纸板,其层合结构有3MD、3TD、1MD2TD、2MD1TD 4种;对于4层瓦楞纸板,其层合结构有4MD、4TD、2MD2TD 3种;对于5层瓦楞纸板,其层合结构有5MD、5TD、2MD3TD、3MD2TD 4种。

1.2.2 抗压强度实验

抗压强度是指瓦楞纸板托盘脚墩能够承受的最大压力,单位为N。当托盘静置时,其承载能力主要取决于托盘脚墩的抗压强度。

分别采用ZYD-3型电子式压缩实验机和ZXYD型电子式整箱压缩实验机,参照《GB 4857.4—1992 包装、运输、包装件压力实验方法》和轻工行业标准《QB/T 1048—1998 纸板及纸箱抗压实验》,完成抗压实验。试样处理环境为标准大气,温度为(23±1)℃。将试样置于实验机两平行压板之间,然后均匀施加压力,上压板的运行速度为12 mm/min,记录压力(F)及压板位移(变形量 x),直到试样发生破裂,或者压力或压板位移达到预定值为止。

瓦楞纸板不同方向抗压性能测试:试样尺寸为40 mm×40 mm×7 mm,压力方向如图2所示,分别为平面压力、垂直压力及平行压力,记录其最大压力(F_{max})。

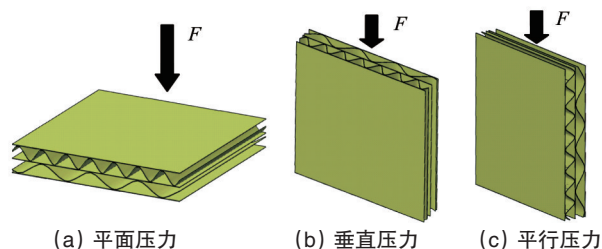


图2 不同方向压力示意

Fig. 2 Different-direction pressure diagram

纵梁式脚墩的抗压强度测试:纵梁式脚墩的长度等于铺板的宽度,取脚墩长度为250 mm,结合不同方向的压力实验确定脚墩的结构,使其抗压强度最大,研究脚墩高度、宽度及受压方向与抗压强度的关系。

1.2.3 缓冲实验

缓冲性能是指瓦楞纸板托盘在受到冲击时,瓦楞纸板对冲击的吸收能力。在缓冲包装动力学中,采用缓冲系数 C 反映包装材料对冲击的吸收性能^[14]。

采用ZXYD型电子式整箱压缩实验机对多层瓦楞纸板脚墩进行静态压缩实验,得到压力-变形量曲线($F-x$ 曲线),采用式(1)转换成应力-应变曲线($\sigma-\varepsilon$ 曲线)。当 $\sigma=0$ 、 ε 达到最大应变 ε_{max} 时,瓦楞纸板单位体积吸收的能量为 u 。材料的缓冲系数 C 为最大应力 σ_{max} 与 u 的比值,可采用式(2)计算。

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \varepsilon = \frac{x}{T} \quad (1)$$

式中, σ 为应力,MPa; F 为压力,N; A 为面积,cm²; ε 为应变,%; x 为变形量,cm; T 为原始厚度,cm。

$$C = \frac{\sigma_{\max}}{u} = \frac{\sigma_{\max}}{\int_0^{\varepsilon_{\max}} \sigma d\varepsilon} \quad (2)$$

式中, C 为静态缓冲系数; $\sigma_{\max}$ 为最大应力, MPa; $\varepsilon_{\max}$ 为最大应变; u 为瓦楞纸板单位体积吸收的能量, J。

依据《GB 8168—87 缓冲性能静态压缩实验》, 对不同高度的脚墩进行静态压缩测试, 得到 $F-x$ 曲线, 将其转化为 $\sigma-\varepsilon$ 曲线, 测量缓冲效率最小值 $C_{\min}$, 分析脚墩高度对缓冲性能的影响^[15], 并研究多层瓦楞纸板和乙烯-醋酸乙烯泡沫(EVA)组合式脚墩的缓冲特性。

2 承载能力分析

2.1 抗弯强度

2.1.1 单层瓦楞纸板的纵向强度

根据实验测量结果得到单层 AB 瓦楞纸板的 $F-x$ 曲线如图 3 所示。随着形变的增加, 瓦楞纸板的抗弯强度先增加后减小; 当形变相同时, 瓦楞纸板的 MD 抗弯强度比 TD 抗弯强度大。对于单层瓦楞纸板 MD 抗弯, 当形变为 9.035 mm 时, 抗弯强度最大值为 83.15 N。对于单层瓦楞纸板 TD 抗弯, 当形变为 4.039 mm 时, 抗弯强度最大值为 15.12 N。单层瓦楞纸板 MD 的最大抗弯强度约为 TD 的 5.5 倍。

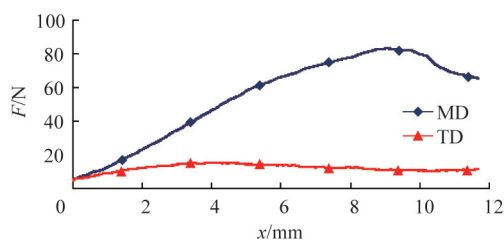


图3 单层瓦楞纸板 $F-x$ 曲线

Fig. 3 $F-x$ curves of single-layer corrugated fiberboard

由于单层瓦楞纸板的 MD 抗弯强度比 TD 抗弯强度大很多, 实际应用也以 MD 结构为主, 因此本研究中对单一方向层合结构的瓦楞纸板只测定其 MD 抗弯强度, 而不再测定其 TD 抗弯强度。

2.1.2 双层瓦楞纸板不同层合结构的抗弯强度

双层瓦楞纸板的层合结构为两层纵向(2MD)和一横一纵(1MD1TD)2种, 根据实验结果得到的 $F-x$ 曲线如图 4 所示。

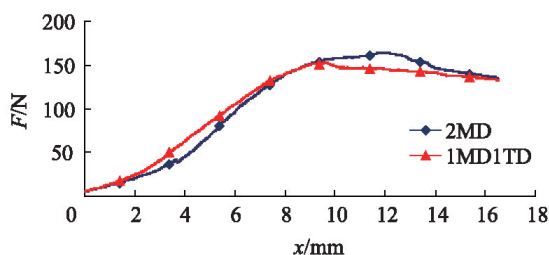


图4 双层瓦楞纸板 $F-x$ 曲线

Fig. 4 $F-x$ curves of two-layer corrugated fiberboard

随着形变的增加, 两种结构瓦楞纸板的抗弯强度先增加后减小; 当形变为 11.935 mm 时, 2MD 层合结构的瓦楞纸板的抗弯强度最大值为 163.9 N; 当形变为 9.655 mm 时, 1MD1TD 层合结构瓦楞纸板的抗弯强度最大值为 151.89 N; 2MD 层合结构瓦楞纸板的最大抗弯强度约为 1MD1TD 层合结构瓦楞纸板的 1.1 倍。

2.1.3 3层瓦楞纸板不同层合结构的抗弯强度

3层瓦楞纸板的层合为 3MD、1MD2TD 及 2MD1TD 3 种结构, 根据抗弯强度实验测定结果得到的 $F-x$ 曲线如图 5 所示。随着形变的增加, 3 种层合结构瓦楞纸板的抗弯强度先增加后减小; 当形变为 10.919 mm 时, 3MD 的抗弯强度最大值为 263.02 N; 当形变为 10.349 mm 时, 2MD1TD 抗弯强度最大值为 180.94 N; 当形变为 8.72 mm 时, 1MD2TD 抗弯强度最大值为 98.27 N。3MD、2MD1TD 及 1MD2TD 3 种层合结构瓦楞纸板的最大抗弯强度之比为 1.3:1.2:1。

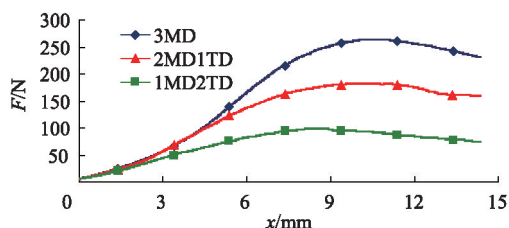


图5 3层瓦楞纸板 $F-x$ 曲线

Fig. 5 $F-x$ curves of three-layer corrugated fiberboard

2.1.4 4层瓦楞纸板不同层合结构的抗弯强度

4层瓦楞纸板的层合结构为 4MD 和 2MD2TD 2 种, 根据抗弯强度实验测定结果得到的 $F-x$ 曲线如图 6 所示。随着形变的增加, 2 种层合结构瓦楞纸板的抗弯强度先增加后减小; 当形变为 12.091 mm 时, 4MD 的抗弯强度最大值为 402.69 N; 当形变为 10.321 mm 时, 2MD2TD 的抗弯强度最大值为 183.39 N。4MD 层合结构瓦楞纸板的最大抗弯强度约为 2MD2TD 层合结构瓦楞纸板的 2.2 倍。

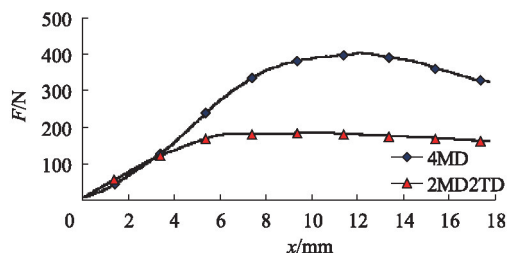


图6 4层瓦楞纸板 $F-x$ 曲线

Fig. 6 $F-x$ curves of four-layer corrugated fiberboard

2.1.5 5层瓦楞纸板不同层合结构的抗弯强度

5层瓦楞纸板的层合结构为 5MD、2MD3TD 及 3MD2TD 3 种, 根据抗弯实验测定结果得到的 $F-x$ 曲线如图 7 所示。随着形变的增加, 3 种层合结构瓦楞纸板的抗弯强度先增加后

减小;当形变为 13.499 mm 时,5MD 的抗弯强度最大值为 474.77 N;当形变为 11.602 mm 时,3MD2TD 的抗弯强度最大值为 344.19 N;当形变为 13.082 mm 时,2MD3TD 的抗弯强度最大值为 314.11N。5MD、3MD2TD、2MD3TD 3 种层合结构瓦楞纸板的最大抗弯强度之比为 1.5:1.1:1。

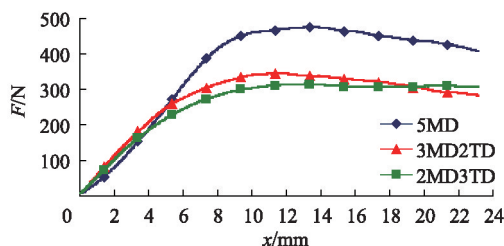


图7 5层瓦楞纸板 $F-x$ 曲线

Fig. 7 $F-x$ curves of five-layer corrugated fiberboard

综上所述,对于多层瓦楞纸板楞向平行且为纵向时,瓦楞纸板的抗弯强度最大。对于楞向垂直的多层瓦楞纸板,承受纵向抗弯的瓦楞纸板越多,瓦楞纸板的抗弯强度越大。

2.1.6 不同层数瓦楞纸板抗弯强度比较

选取楞向平行且为纵向层合结构,层数分别为 1~5 层的瓦楞纸板进行抗弯强度比较实验,得到的 $F-x$ 曲线如图 8 所示。1MD 结构的最大抗弯强度为 83.15 N,2MD 结构的最大抗弯强度为 163.90 N,3MD 结构的最大抗弯强度为 263.02 N,4MD 结构的最大抗弯强度为 402.69 N,5MD 结构的最大抗弯强度为 474.77 N。

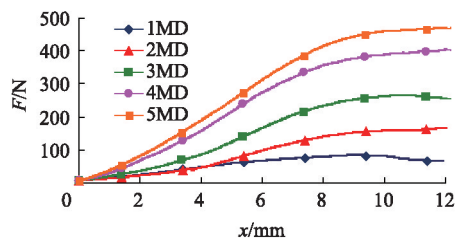


图8 多层瓦楞纸板抗弯强度比较

Fig. 8 Comparison of bending resistance of multi-layer corrugated fiberboard

瓦楞纸板的纵向最大抗弯强度与层数的关系如图 9 所示。

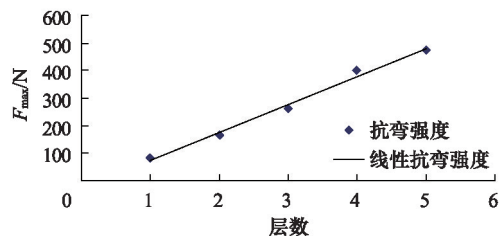


图9 纵向最大抗弯强度-层数曲线

Fig. 9 Relationship between maximum longitudinal bending resistance and layer number

对实验数据作线性回归分析,令层数为 n ,最大抗弯为 y ,则

$$y=102.2n-29.103 \quad R^2=0.9903$$

其中, R^2 为方程的判定系数,用来判断回归方程的拟合优度。 $R^2=0.9903$ 说明拟合直线涵盖了 99.03% 的实测数据,因此这是一个线性特征非常显著的实验模型,能够应用该线性模型来表达楞向平行的多层瓦楞纸板的最大抗弯强度与层数的关系。

2.2 抗压强度

2.2.1 不同方向的抗压强度比较

截取尺寸为 40 mm×40 mm×7 mm 的单层 AB 型瓦楞纸板和尺寸为 40 mm×40 mm×35 mm 的 5 层 AB 型瓦楞纸板进行平面压力、垂直压力及平行压力实验,比较其不同方向的抗压强度。

对于单层瓦楞纸板,平面压力、垂直压力、平行压力 3 项实验得到的最大抗压强度分别为 237、307、50 N;对于 5 层瓦楞纸板,3 项实验得到的最大抗压强度分别为 152、1223、191 N。不论是单层还是多层瓦楞纸板,其垂直抗压强度都是最大的,单层瓦楞纸板的垂直抗压强度 > 平面抗压强度 > 平行抗压强度,5 层瓦楞纸板的垂直抗压强度 > 平行抗压强度 > 平面抗压强度;随着层数的增加,瓦楞纸板的垂直抗压强度和平行抗压强度也增加,但平面抗压强度反而减小。

2.2.2 纵梁式脚墩不同结构的抗压强度比较

由上述实验可知,瓦楞纸板的垂直抗压强度最大。因此,设计纵梁式脚墩时,采用垂直压力方向作为承载方向。取脚墩高度为 80、90、100、110 mm,层合层数分别为 6 层、7 层、8 层、9 层,即脚墩宽度依次为 42、49、56、63 mm,长度为 250 mm 的试样,分别进行压力实验,测试脚墩的最大抗压强度。

当脚墩高度一定时,脚墩的最大抗压强度与层合层数的关系如图 10 所示。当脚墩的层合层数一定时,脚墩的最大抗压强度与脚墩高度的关系如图 11 所示。当脚墩的高度一定时,层合层数越多,即脚墩的宽度越大,其抗压强度越强;当脚墩的层合层数一定时,即脚墩的宽度一定,随着脚墩高度的增加,其抗压强度先增大后减小,当高度为 100 mm 时,脚墩的抗压强度最大。

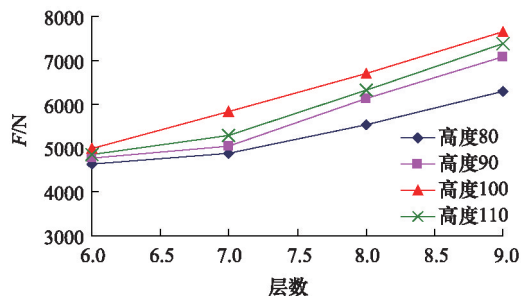


图10 脚墩抗压强度与层数关系

Fig. 10 Relationship between maximum compressive strength and layer number of foot pier

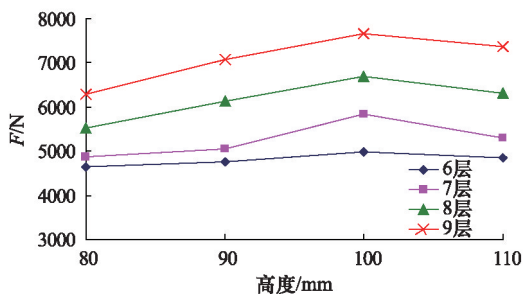


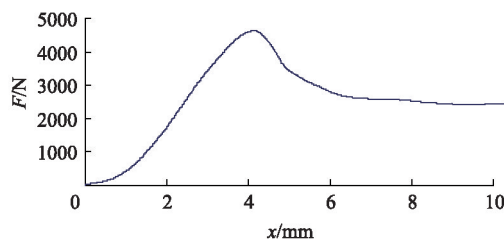
图 11 脚墩抗压强度与脚墩高度关系

Fig. 11 Relationship between compressive strength and height of foot pier

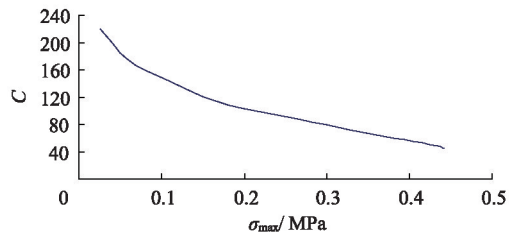
3 缓冲性能分析及改进

3.1 瓦楞纸板托盘的缓冲性能

以层合层数为6层、高度为80 mm的瓦楞纸板脚墩为例,测试多层瓦楞纸板的缓冲性能,得到的 $F-x$ 曲线如图12所示。当 F 达到一定程度时,瓦楞纸板脚墩被压溃,丧失缓冲性能。

图 12 6层瓦楞纸板脚墩的 $F-x$ 曲线Fig. 12 $F-x$ curve of foot pier made of six-layer corrugated fiberboard

计算瓦楞纸板脚墩被压溃前的静态缓冲系数 C ,并绘制 $C-\sigma_{\max}$ 曲线,如图13所示。瓦楞纸板脚墩被压溃前,其最小缓冲系数 $C_{\min}=44.745$,说明多层瓦楞纸板脚墩的承载性能较强,但缓冲性能较差。

图 13 6层瓦楞纸板脚墩的 $C-\sigma_{\max}$ 曲线Fig. 13 $C-\sigma_{\max}$ curve of foot pier made of six-layer corrugated fiberboard

3.2 瓦楞纸板托盘缓冲性能的改进

EVA泡沫是新型环保材料,具有良好的缓冲隔振性能及承载能力,且耐热、防潮、韧性好。可将托盘的脚墩改为多层瓦楞纸板与EVA泡沫相结合的形式,即将EVA泡沫粘结在多层瓦楞纸板下端,以提高托盘的缓冲性能^[16]。

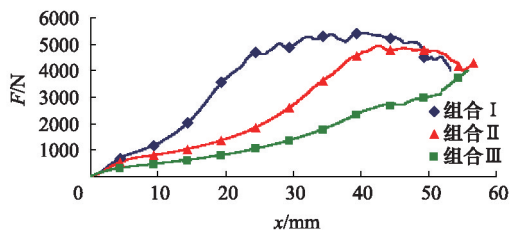
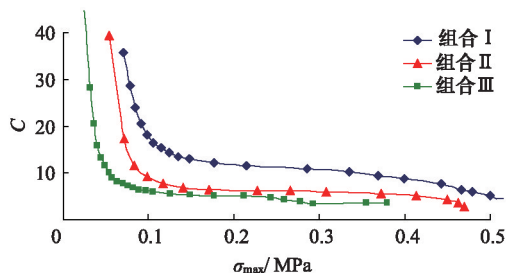
改变脚墩中多层瓦楞纸板与EVA材料的厚度比,制作成I、II、III 3种组合型式。组合I为1/4EVA + 3/4瓦楞纸板,组合II为1/2EVA + 1/2瓦楞纸板,组合III为3/4EVA + 1/4瓦楞纸板。当脚墩层合层数为6层、高度为80 mm时,测试3种组合式脚墩的抗压强度及缓冲性能,测试结果如表1所示,绘制3种组合式脚墩的 $F-x$ 曲线、 $C-\sigma_{\max}$ 曲线如图14和图15所示。

随着形变的增加,组合式脚墩的抗压强度先增大后趋于平缓波动。3种组合型式的最大抗压强度,组合I>组合II>

表 1 组合式脚墩的缓冲性能

Table 1 Cushioning performance of combination type foot piers

组合型式	纸板厚度/ mm	EVA厚度/ mm	$F_{\max}/N$	$x_{\max}/mm$	$\sigma_{\max}/MPa$	$\varepsilon/\%$	$C_{\min}$
组合 I	60	20	5414.127	40.461	0.516	0.506	4.423
组合 II	40	40	4930.601	42.493	0.470	0.531	2.863
组合 III	20	60	3986.004	55.697	0.419	0.696	1.997

图 14 3种组合脚墩的 $F-x$ 曲线Fig. 14 $F-x$ curves of three combination type foot piers图 15 3种组合脚墩的 $C-\sigma_{\max}$ 曲线Fig. 15 $C-\sigma_{\max}$ curves of three combination type foot piers

组合 III, 比值 1.4:1.2:1。组合 III 的缓冲系数最小值比组合 I 降低 54.8%, 且压溃后不会失去缓冲性能。因此, 瓦楞纸板与 EVA 材料组合应用能够明显改善托盘脚墩的缓冲性能。

将 3 种组合式脚墩的抗压强度曲线与缓冲效率曲线绘制到同一图形中, 如图 16 所示, 组合 I 的缓冲效率为 22.6%, 组合 II 的缓冲效率为 34.9%, 组合 III 的缓冲效率为 50.1%。

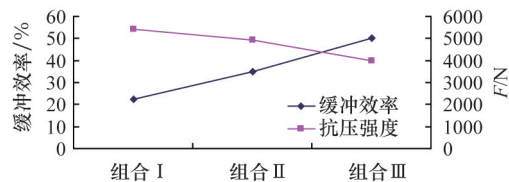


图 16 抗压强度和缓冲效率优化

Fig. 16 Optimization of compressive strength and cushioning efficiency

随着 EVA 缓冲材料厚度增加, 脚墩的抗压强度降低, 缓冲性能增强, 因此抗压强度曲线和缓冲效率曲线的交点处即为脚墩综合性能最优的组合方案。由于缓冲效率曲线近似为直线, 因此可利用缓冲效率曲线, 采取插值法计算交点处的 EVA 材料厚度。交点处脚墩的缓冲效率为 41%, 得到最优组合时, 脚墩中 EVA 材料的厚度占脚墩总厚度的 3/5, 瓦楞纸板厚度占总脚墩厚度的 2/5。

4 结论

1) 瓦楞纸板的纵向抗弯强度约是横向抗弯的 5.5 倍。对于多层瓦楞纸板楞向垂直的层合结构中, 承受纵向抗弯的层数越多, 其抗弯强度越大。对于多层瓦楞纸板楞向平行的层合结构中, 瓦楞纸板所承受的最大抗弯强度与层合层数满足线性关系。

2) 对于 AB 型多层瓦楞纸板脚墩, 当脚墩承受垂直压力时, 其抗压强度最大; 当脚墩高度一定时, 层合层数越多, 其抗压强度越大; 当脚墩的层合层数一定时, 随着脚墩高度的增加, 其抗压强度先增大后减小, 且当高度为 100 mm 时, 抗压强度最大。

3) 将多层瓦楞纸板与 EVA 材料组合, 可以提高脚墩的缓冲性能。当脚墩中 EVA 材料的厚度占总厚度的 3/5, 多层瓦楞纸板厚度占总厚度的 2/5 时, 脚墩的承载性能和缓冲性能处于最佳状态。

参考文献 (References)

- [1] 郭彦峰, 付云岗, 许文才, 等. 瓦楞纸板结构在运输包装应用中的研究进展[J]. 包装工程, 2007, 28(8): 6-9.
Guo Yanfeng, Fu Yungang, Xu Wencai, et al. Advances of the application research of corrugated paperboard structures in transport packaging[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(8): 6-9.
- [2] 杨世军, 杨学春, 尤浩田. 木托盘的发展前景及存在的问题研究[J]. 森林工程, 2013, 29(2): 135-138.

- Yang Shijun, Yang Xuechun, You Haotian. Study on the development prospects and existing problems of wooden pallets[J]. Forest Engineering, 2013, 29(2): 135-138.
- [3] 潘建武, 辛军亮, 杨学春. 单面交错铺板带翼木托盘的力学性能及试验研究[J]. 森林工程, 2014, 30(1): 60-63.
Pan Jianwu, Xin Junliang, Yang Xuechun. Study on mechanical properties and experiments of single staggered ceiling winged wooden pallets[J]. Forest Engineering, 2014, 30(1): 60-63.
- [4] Masood S H, Haider R S. An investigation of pallet design using alternative materials for cold room applications[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, 29(1): 1-8.
- [5] 许文才, 向明, 王德忠. 瓦楞纸板托盘的压力性能[J]. 包装工程, 1998, 119(2): 8-10.
Xu Wencai, Xiang Ming, Wang Dezhong. The compression properties of corrugated board pallet[J]. Packaging Engineering, 1998, 119(2): 8-10.
- [6] 温时宝, 薛蕾, 刘翠. 纸板托盘的发展及其结构概述[J]. 包装与食品机械, 2011, 29(2): 56-59.
Wen Shibao, Xue Lei, Liu Cui. Overview of development and structure of cardboard pallet[J]. Packaging and Food Machinery, 2011, 29(2): 56-59.
- [7] 刘映平. 新型纸托盘的抗压强度试验研究[J]. 包装工程, 2007, 28(6): 47-49.
Liu Yingping. Study on compression strength of new type of paper pallet [J]. Packaging Engineering, 2007, 28(6): 47-49.
- [8] 徐长妍, 张云, 徐丽. 组合瓦楞纸板抗弯性能研究[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 21-23.
Xu Changyan, Zhang Yun, Xu Li. Research on bending properties of assembled corrugated boards[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 21-23.
- [9] Jesús G A, Carlos P P, Antonio G L. Logistics improvement through packaging rationalization: A practical experience[J]. Packaging Technology and Science, 2006, 19: 303-308.
- [10] Ge C F. Efficient packaging design in logistics[J]. Packaging Technology and Science, 1996, 9: 275-287.
- [11] Daniel H, Mazen S. Packaging and logistics interactions in retail supply chains[J]. Packaging Technology and Science, 2007, 20: 197-216.
- [12] 郭金玲. 探讨瓦楞纸板的破坏模式和破损机理[J]. 印刷技术, 2012 (2): 28-29.
Guo Jinling. Investigation the failure mode and failure mechanism of corrugated cardboard[J]. Printing Technology of Publishing and Commercial Printing, 2012(2): 28-29.
- [13] Model P L. Corrugated pallet and pallet foot[J]. Journal of Cleaner Production, 1998, 6: 153-170.
- [14] 马宴苹. AB 型双瓦楞纸板衬垫缓冲性能的试验研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2007.
Ma Yanping. Experimental studies on dynamic cushioning properties of double-wall corrugated paperboard cushion with a and b flutes[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2007.
- [15] 李琛, 肖生冬, 刘颖. 热老化对聚苯乙烯缓冲材料振动传递特性的影响[J]. 科技导报, 2013, 31(35): 56-59.
Li Chen, Xiao Shengling, Liu Ying. Thermal aging effect on vibration transmissibility of expanded polystyrene[J]. Science and Technology Review, 2013, 31(35): 56-59.
- [16] 沈训乐, 刘乘. 几种常见缓冲托盘的缓冲材料研究[J]. 包装工程, 2012, 33(1): 46-66.
Shen Xunle, Liu Cheng. Study of several cushioning material commonly used for cushioning pallet[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1): 46-66.

(责任编辑 韩星明)