

纸托盘嵌入式底脚横向强度研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2018.01.003

陈鑫 吴若梅
赵德坚 滑广军

湖南工业大学
包装与材料工程学院
湖南 株洲 412007

摘要: 根据纸质托盘结构及纸质运输包装材料的特点, 提出了一种嵌入式底脚的纸质托盘结构。首先分析了嵌入式底脚与普通粘合式底脚的承载机理, 研究发现, 嵌入式底脚结构改善了普通粘合式底脚结构的承载方式。在横向载荷作用下, 普通粘合式底脚承受剪切力作用只有一个承载面, 总承载面积较小; 嵌入式底脚承受多个面的剪切力及拉压力作用, 承载总面积较大。随后, 分别设计了开槽式、纸护角式两种嵌入式结构, 并制备试样, 对比分析了两种嵌入式底脚托盘与普通粘合式底脚托盘联结强度。研究表明, 普通粘合式底脚横向承载能力较小; 嵌入式底脚结构提高了底脚与托盘底板的胶粘面积及强度, 能够承受更大的载荷及冲击力, 新型结构是一种更可靠的纸质底脚与底板结合方式。

关键词: 纸托盘; 蜂窝纸板; 瓦楞纸板; 嵌入式底脚

中图分类号: TB484.1

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2018)01-0015-05

0 引言

托盘作为衔接运输、仓储、包装、装卸、搬运等物流环节的关键要素, 是企业降低物流成本、提高物流效率的重要工具^[1-2]。纸托盘随着代木托盘的研制而发展, 目前代木托盘主要有塑料托盘、纸浆模塑托盘、塑木托盘和纸托盘。纸托盘因为价格低、质量轻、免熏蒸, 符合绿色环保要求而逐渐得到广泛应用^[3-4]。蜂窝纸板优良的承载能力受到了物流运输包装行业的关注, 从而出现了多种形式的蜂窝纸板托盘, 但目前相关研究工作还不够充分, 制约了蜂窝纸板托盘的推广及应用^[5-6], 需要针对蜂窝纸板等纸质包装材料的特点及流通环境条件, 开展更深入的研究工作。R.

Alvarez-Valdés 等^[7-8]对影响托盘承载的因素进行了研究, 得出了最佳的底脚排列方式。刘晓红等^[9]探讨了蜂窝纸板的结构与性能, 提出了蜂窝纸板结合其他材料的复合方式可以提高蜂窝纸板托盘性能的建议。徐炜峰^[10]研究发现, 改变托盘托底结构可以有效地增强蜂窝纸托盘的抗弯强度, 另外铺板材料的选用也影响抗弯强度, 铺板表层面纸克重越大、厚度越高, 其抗弯强度相应越大。朱永辉^[11]针对柱脚式蜂窝托盘, 使用有限元软件建模的方法分析了柱脚对蜂窝托盘力学性能的影响。曾克俭等^[12]对蜂窝纸托盘的研究现状进行了综述, 认为现有蜂窝纸板托盘的研究工作中对真实物流环境因素的影响分析不够充分。李志强等^[13]对蜂窝纸板式铺板与木屑复合材料式底

收稿日期: 2017-10-30

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2015JJ6034), 湖南工业大学“绿色包装与安全”专项资金资助项目(2017ZBLY09), 湖南省科技计划基金资助项目(2015JC3114)

作者简介: 陈鑫(1994-), 女, 山东菏泽人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为物流运输包装技术, E-mail: 603437011@qq.com

通信作者: 滑广军(1975-), 男, 河南长垣人, 湖南工业大学副教授, 博士, 主要从事物流运输包装技术, CAD/CAE, 振动测试与故障诊断, 结构动力学等方面的研究, E-mail: 846620681@qq.com

脚组合托盘进行了试验分析,发现动态冲击试验时底脚容易脱落。对于纸质托盘,底脚与底板的联结强度也是业内比较关注的问题。

本文针对纸质托盘在物流过程中底脚易脱落的问题,提出一种嵌入式底脚蜂窝纸托盘结构,并对不同的嵌入方式与普通直粘式底脚的联结强度进行了试验分析。

1 嵌入式底脚托盘设计

1.1 纸质托盘的底脚与底板联结形式

纸质托盘由铺板、底脚和纸护角3部分组成,几种典型的纸质托盘如图1所示。按照铺板结构的不同,全纸质托盘可分为瓦楞纸板托盘,蜂窝纸板托盘,纸浆模塑托盘3种。瓦楞纸板托盘与蜂窝纸板托盘都具有原料丰富、可回收再利用、制造成本低、表面光滑利于印刷、质轻便于搬运等优点。与蜂窝纸板相比,瓦楞纸板具有更好的缓冲性能,但蜂窝纸板的抗弯性能和面外承载性能较瓦楞纸板更加优良,因此蜂窝纸板托盘具有广阔的发展前景。纸浆模塑托盘是开口的立体空间均匀薄壁结构,大型的纸浆模塑结构强度及刚度较差,因此目前市场上纸浆模塑主要是作为产品的内衬包装使用,作为承受重载的物流托盘使用的非常少^[14]。

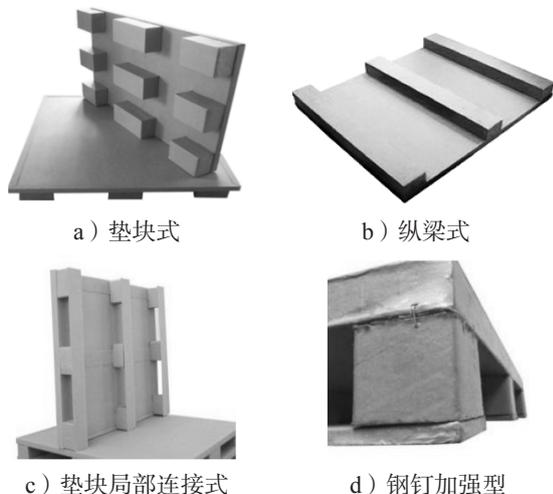


图1 常见纸质托盘结构形式

Fig. 1 Common paper tray structures

目前纸质托盘的结构及成型方法受木质托盘结构及成型方法影响较大(参见图1),存在较多的问题^[15]。纸托盘的托盘底脚与铺板之间通常采用胶粘固定,但是胶粘强度远远小于木托盘的钉合强度,以及钢托盘的螺丝紧固或焊接强度,因此常常出现底脚

脱落或错位等情况。尤其是蜂窝纸板托盘,底脚和底板的联结强度问题更为突出,一些制造商甚至通过钢钉加固底脚,如图1d所示。蜂窝纸板属于阵列式空间薄壁结构,材料具有不均匀性,握钉能力极差,采取钢钉加固的方式不仅破坏了纸板的纤维结构,而且联结强度也不会得到显著改善。

1.2 底脚嵌入方式设计

针对蜂窝纸板托盘底脚易脱落的问题,本文突破传统的蜂窝纸板托盘设计思路,提出了嵌入式底脚的全纸质托盘结构。该托盘的所有结构件均采用胶粘方式连接,支脚与铺板之间采用嵌入式加胶粘方式连接,大大提高了联结强度。嵌入式底脚回避了纸质材料的纤维结合强度低的缺点,不仅结构合理,而且成型方法简单。本文提出开槽嵌入式和护角嵌入式两种结构形式(参见图2)。嵌入底脚分别选择了目前应用比较广泛的方管脚和瓦楞底脚(参见图3)。制作两种嵌入式底脚与底板联结方式的试样,以及底脚与底板直粘式托盘试样。

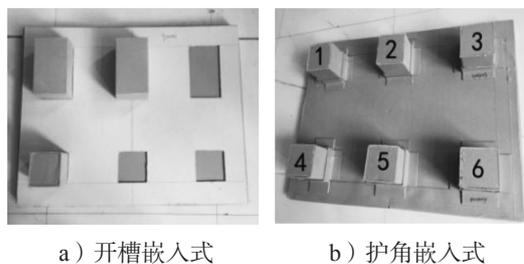


图2 底脚嵌入方式

Fig. 2 Foot embedding pattern

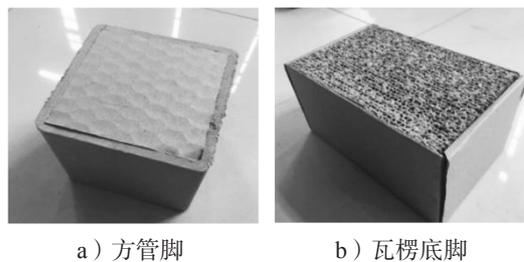


图3 底脚形式

Fig. 3 Foot form

2 嵌入式底脚托盘横向承载机理

对于普通直接粘合式底脚结构,底脚与底板之间只有一个接触面,设面积为 A ,当承受横向载荷 F_n 时,接触面 A 承受切应力 τ_n ,底脚受力状态如式(1)所示:

$$F_n = \tau_n \cdot A. \quad (1)$$

由公式(1)可知,底脚与底板之间联结面积越大,横向承载能力越强。

对于嵌入式底脚结构,底脚与底板之间有5个接触面,当承受横向载荷 F_q 时,受力方向如图4、5所示,面1承受压应力 σ_1 ,面3承受拉应力 σ_3 ,面2承受切应力 τ_2 、面4承受切应力 τ_4 、面5承受切应力 τ_5 ,底脚受力状态如式(2)所示:

$$F_q = \sigma_1 \cdot A_1 + \sigma_3 \cdot A_3 + \tau_2 \cdot A_2 + \tau_4 \cdot A_4 + \tau_5 \cdot A_5 \quad (2)$$

由公式(1)及公式(2)可知,普通直粘式底脚只有一个联结面起承载作用,而嵌入式结构将受力面从1个变为5个。如果 $F_n = F_q$,则 $\tau_5 < \tau_n$,因此嵌入式底脚结构改善了和连接部位的应力状态,使托盘抵抗横向载荷的能力增强。

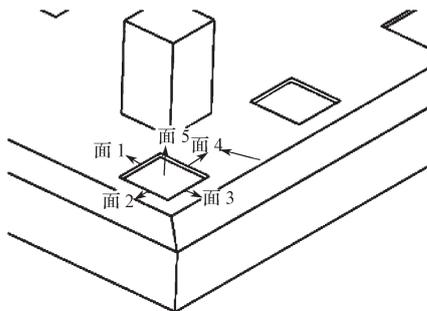


图4 开槽嵌入式底脚

Fig. 4 Slotted embedded foot

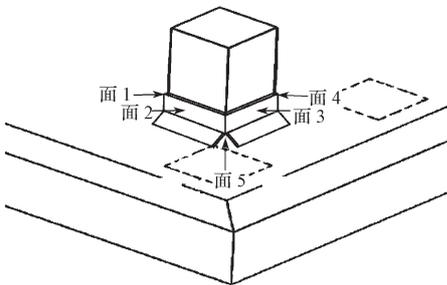


图5 护角嵌入式底脚

Fig. 5 Protection corner embedded foot

3 嵌入式底脚托盘横向强度测试

利用纸箱抗压试验机对底脚联结强度进行强度测试,在抗压试验机上压板与测试底脚之间垫上刚度与强度比较大的方木,并施加载荷。分别测试不同嵌入式底脚结构的横向承载能力,并与普通直粘式底脚的横向承载强度进行对比分析。

3.1 开槽嵌入式底脚强度测试

3.1.1 方管脚强度测试

选择图3a所示的方管脚,采用图4所示的嵌入

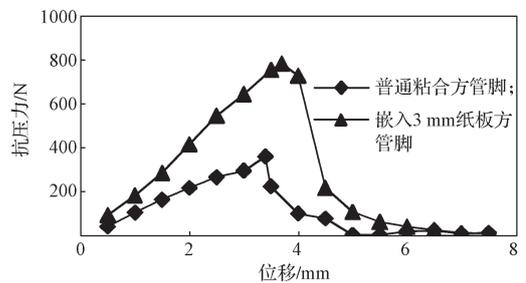
方式,嵌入槽深3 mm,制作3个方管脚嵌入式试样,分别测试其联结强度,对测试数据进行平均处理,其抗压力与位移曲线如图6a所示。

选择图3a所示的方管脚,采用普通粘合方式,制作3个方管脚直接粘在纸盘底部,分别测试其联结强度,对测试数据进行平均处理,其抗压力与位移曲线如图6a所示。

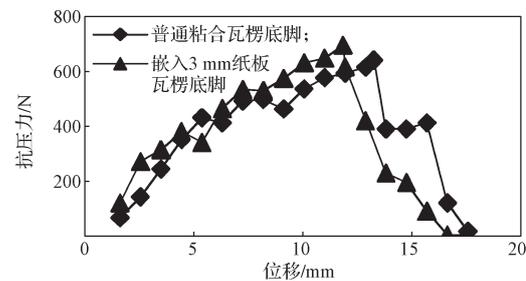
通过开槽嵌入式与普通粘合式抗压力与位移曲线的对比,可发现方管脚嵌入式最大抗压力为787.30 N,明显高于普通粘合方式的方管脚底脚,并且嵌入后方管脚的脱落时间得到了延缓。因此开槽式嵌入能提高方管脚与铺板底部(即底板)的联结强度,改善方管脚在受压时易脱落的问题。

3.1.2 瓦楞底脚强度测试

将测试样品改为3个如图3b所示的瓦楞底脚后,重复和方管脚强度测试相同的步骤,其抗压力与位移曲线如图6b所示。对比开槽嵌入式瓦楞底脚和普通粘合瓦楞底脚的抗压力与位移曲线图可知,开槽嵌入式瓦楞底脚最大抗压力为712.13 N,与普通粘合的瓦楞底脚抗压情况相差不多,甚至嵌入式底脚的耐脱落时间相对提前,这说明嵌入式设计对提高瓦楞底脚与铺板底部联结强度无明显作用。其主要原因是集中受力时,瓦楞结构被破坏,导致瓦楞底脚很容易压溃。



a) 方管脚



b) 瓦楞底脚

图6 底脚平均抗压力-位移对比曲线

Fig. 6 Foot average resistance to pressure - displacement contrast curve

通过观察底脚的受压破坏情况,分析底脚抗压实

验曲线发现,瓦楞底脚在受压时不容易脱落,而方管脚只要开始脱胶就会迅速脱落。其原因为方管脚由纸管和蜂窝纸板两部分组成,内填充的蜂窝纸板与纸管不完全在同一平面上,粘合时底脚粘胶不均匀,受到外力后表现为大面积脱落。开槽式嵌入对瓦楞底脚没有起到优化作用,但是增强了方管脚底脚粘合效果,使底脚受到冲击时不易脱落。

3.2 护角嵌入式底脚

由开槽嵌入式联结强度实验结果发现,方管脚对嵌入结构效果更好。又因为材料有限,此次实验只针对方管脚做护角式嵌入进行改变。试样制备,将6个相同方管脚分别标号,按图5方式嵌入,效果如图2b所示,标号1,2,3嵌入规格是30 mm×30 mm×3 mm的小号纸护角,4,5,6嵌入规格是40 mm×40 mm×4 mm的大号纸护角。对以上这6个底脚依次加压,观察受压变形情况,结果如图7所示。受压后6个方管脚破坏情况类似,均为托盘铺板面纸脱胶导致底脚脱离铺板,但是方管脚的底脚及护角与面纸仍粘贴牢固没有损伤,只是底脚受压端与纸护角粘连处轻微开胶。大、小号护角嵌入式实验结果如图7a所示,实验对比可知,小号护角最大抗压力为460.60 N,大号护角最大抗压力为496.53 N。采用规格40 mm×40 mm×4 mm的纸护角嵌入与采用规格30 mm×30 mm×3 mm的纸护角抗压强度相差不多。

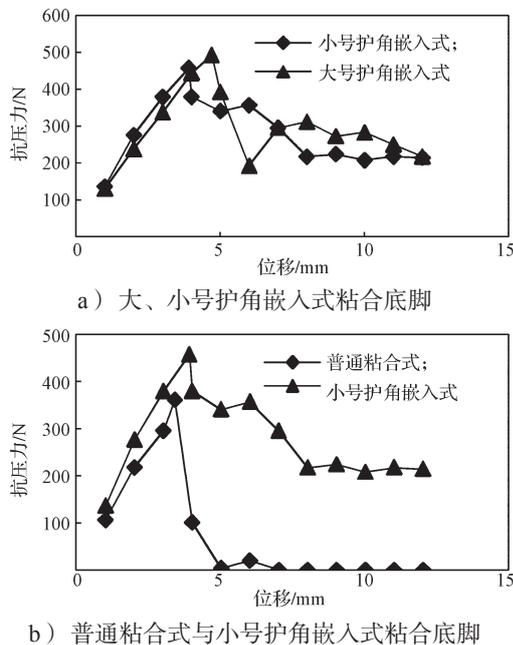


图7 方管脚平均抗压力-位移对比曲线

Fig. 7 Square foot average resistance to pressure - displacement contrast curve

小号护角嵌入式与普通粘合式的抗压力及位移曲线如图7b所示,结果对比可知,小号护角嵌入式粘合底脚的最大抗压力高于普通粘合的底脚。实验表明:一定压力下,普通粘合式底脚受压后迅速脱落,而护角嵌入式方管脚没有脱落仍在继续抗压,这种护角式嵌入能解决方管脚易脱落的问题。

4 结论

通过对底脚破坏情况以及抗压数据的分析,可得以下结论:

1) 由于瓦楞材料的原因,瓦楞结构压溃先于瓦楞底脚开胶脱落。嵌入式设计的目的是提高底脚的联结强度使底脚不易脱落,因此嵌入式设计不适用于瓦楞底脚。

2) 方管脚受压时极易脱落,开槽式嵌入可提高方管脚的抗压强度,但不能有效阻止方管脚脱落。

3) 护角包裹式嵌入可有效提高方管脚与铺板的联结强度,能够保护底脚,使底脚在受到冲击时仍然粘合牢固,从而可解决方管脚易脱落问题。但由于护角集中粘贴在铺板局部,在受到冲击时铺板面纸会因局部受力而脱胶。

参考文献:

- [1] 力群. 2009年中国托盘行业市场现状分析[J]. 物流技术与应用, 2009, (9): 27-33.
LI Qun. Analysis on the Status of Chinese Pallet Industry in 2009[J]. Logistics & Material Handling, 2009, (9): 27-33.
- [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] 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.
- [4] 寇新宇, 孙一凡, 马乐, 等. 瓦楞纸板托盘结构及性能研究综述[J]. 包装世界, 2017(3): 34-35.
KOU Xinyu, SUN Yifan, MA Le, et al. Review on the Structure and Performance of Corrugated Pallet[J].

- Packaging World, 2017(3): 34–35.
- [5] 曾克俭, 刘珊. 蜂窝纸板动态缓冲性能分析研究[J]. 包装工程, 2014, 35(17): 15–18.
ZENG Kejian, LIU Shan. Analysis on Dynamic Cushioning Property of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(17): 15–18.
- [6] 刘晓红, 周鲁兵. 蜂窝板在代木托盘中的应用研究[J]. 中国包装, 2005, 25(3): 65–70.
LIU Xiaohong, ZHOU Lubin. Application Study on the Honeycomb Board in Taking the Place of the Wooden Pallet[J]. Chinese Packaging, 2005, 25(3): 65–70.
- [7] ALVAREZ-VALDÉS R, PARREÑO F, TAMARIT J M. A Branch-and-Cut Algorithm for the Pallet Loading Problem[J]. Computers and Operations Research, 2005, 32(11): 3007–3029.
- [8] MARTINS G H A, DELL R F. Solving the Pallet Loading Problem[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 184(2): 429–440.
- [9] 刘晓红, 王文明. 蜂窝板托盘的技术条件及生产工艺[J]. 木材工业, 2005, 19(6): 22–24.
LIU Xiaohong, WANG Wenming. Application and Production Techniques of Honeycomb Panels Used in Wooden Pallets[J]. Wood Industry, 2005, 19(6): 22–24.
- [10] 徐炜峰. 关于蜂窝纸托盘性能的研究与探讨[J]. 株洲工学院学报, 2005, 14(5): 17–19.
XU Weifeng. Research and Discussion on the Performance of Bee Nest Paperboard Pallets[J]. Journal of Zhuzhou Institute of Technology, 2005, 14(5): 17–19.
- [11] 朱永辉. 蜂窝纸基托盘静载特性研究与结构分析[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
ZHU Yonghui. The Study on the Performance of Honeycomb Paper-Board Pallet and the Structure Analysis [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [12] 曾克俭, 刘珊. 蜂窝纸板和蜂窝纸托盘的性能研究进展[J]. 包装学报, 2014, 6(3): 25–30.
ZENG Kejian, LIU Shan. Research Progress in Honeycomb Paperboard and Honeycomb Paper Tray[J]. Packaging Journal, 2014, 6(3): 25–30.
- [13] 李志强, 刘乘, 孙涛. 蜂窝纸板复合托盘性能测试研究[J]. 包装工程, 2008, 29(5): 32–34.
LI Zhiqiang, LIU Cheng, SUN Tao. Testing and Research on the Performance of Honeycomb Paperboard Pallets[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(5): 32–34.
- [14] 王冬梅, 王志伟. 纸质结构型包装材料缓冲性能研究进展[J]. 材料导报, 2007, 21(6): 43–46.
WNAG Dongmei, WANG Zhiwei. Research Advance in Paper Structure Cushioning Packaging Materials[J]. Materials Review, 2007, 21(6): 43–46.
- [15] 滑广军, 谢勇, 赵德坚. 一种嵌入式底脚的全纸质组合重载托盘及其成型方法: CN105730823A [P]. 2016–07–06.
HUA Guangjun, XIE Yong, ZHAO Dejian. A Kind of Integral Heavy-Duty Tray and Its Forming Method for Embedded Foot: CN105730823A [P]. 2016–07–06.

Study on Transverse Strength of Embedded Foot Paper Pallet

CHEN Xin, WU Ruomei, ZHAO Dejian, HUA Guangjun

(School of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: According to the characteristics of paper pallet structure and packaging materials, a new structure of paper pallet with embedded foot was proposed. Firstly, the loading mechanism of embedded foot and common bonded foot was analyzed. The study found that the embedded foot improved the stress state of the common bonded foot structure. Under the action of transverse load, the common bonded foot bore shear forces with only one bearing surface, with the total bearing area being small, while the embedded foot structure bore the effect of shear force, tension and pressure applied by several surfaces, with the total bearing area larger than the common bonded foot. Then, two types of embedded foot and one type of common bonded foot were designed, and the bond strength experiments were carried out. The results showed that the common bonded foot had a small lateral load capacity, while the embedded foot improved the adhesive area and strength between the foot and the base plate of pallet, which could bear larger load and impact force. The new structure was a more reliable mode of combining paper foot and base plate.

Keywords: paper pallet; honeycomb paper-board; corrugated paper-board; embedded foot