

免胶带可自锁的瓦楞纸箱结构设计

王宇航¹, 丁娟¹, 邵琪琛², 赵冬菁¹, 仲晨¹

(1.曲阜师范大学, 山东 日照 276826; 2.上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 针对现有快递包装普遍使用胶带封箱及生命周期短等问题, 提出一种免胶带封箱可自锁且可多次使用的新型瓦楞纸箱设计方案。**方法** 首先确定包装材料; 接着进行创新性包装结构设计, 重点设计免胶带封箱及自锁结构的可靠性; 在此基础上确定纸箱多次使用的工艺流程; 最后利用验证试验及有限元仿真对纸箱进行性能分析。**结果** 自由跌落试验结果表明提案纸箱在多次使用过程中具有良好的封箱强度; 跌落仿真结果表明提案纸箱可吸收约 40% 的外部冲击载荷, 具有良好的缓冲性能; 空箱抗压仿真可知提案纸箱的最大抗压强度为 3236 N, 较普通开槽箱抗压性能提升约 42%。另外, 提案纸箱较普通开槽箱可降低约 60% 的生产成本。**结论** 提案纸箱具有免胶带封箱、自锁防盗启、生命周期长、保护性能好、生产成本低等优点。

关键词: 瓦楞纸箱; 结构设计; 免胶带; 自锁; 多次使用

中图分类号: TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)01-0136-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.01.019

Structural Design of a Tape-free Corrugated Box with Self-lock Function

WANG Yu-hang¹, DING Juan¹, SHAO Qi-chen², ZHAO Dong-jing¹, ZHONG Chen¹

(1.Qufu Normal University, Rizhao 276826, China; 2.University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a tape-free corrugated box which has self-locking function and can be used for many times in view of the usage of the tape seal and the short life cycle of express package. Firstly, the packaging material was determined. Secondly, an innovative structural design of the package was carried out to highlight the reliability of tape-free sealing and self-locking structure. In addition, the recycling process of the proposed box was clarified. Finally, the dynamics performance of the proposed box was analyzed by the verification tests and finite element simulations. The results of free drop test showed that the proposed box had good sealing strength after multiple uses. The drop simulation test results showed that the proposed box could reduce about 40% of the external impact load and had good cushioning performance. The maximum compressive strength of the proposed box was 3236 N, which was about 42% higher than that of the traditional slotted case. Besides, the production cost of the proposed box could decrease by about 60% compared with the traditional slotted case. The proposed box has the advantages of tape-free sealing, self-locking and anti-theft opening function, long life cycle, good protection performance, low production cost, etc.

KEY WORDS: corrugated box; structural design; tape-free; self-locking; multiple uses

收稿日期: 2020-03-30

基金项目: 山东省自然科学基金 (ZR201702100113)

作者简介: 王宇航 (1998—), 男, 曲阜师范大学本科生, 主攻包装材料、包装结构设计。

通信作者: 仲晨 (1979—), 男, 博士, 曲阜师范大学副教授, 主要研究方向为运输包装、包装结构设计。

随着国内电子商务的蓬勃发展,网络购物已成为人们生活的一部分,物流行业也得以迅速发展。市场调研数据表明^[1],2019 年全国快递业务量达 635.2 亿件,比 2018 年增长 25.3%,位居世界第一。海量快递包装所产生的问题也同样不可忽视,现有的快递包装普遍使用胶带进行封箱,不仅造成环境污染,也不利于纸箱的回收再利用;目前多数快递纸箱使用一次后便退出流通环节,生命周期普遍较短,造成资源浪费,不利于可持续发展^[2]。针对这些问题,许多学者进行研究并提出了改进方案。杜洋等^[3]在原有纸箱的基础上,通过设计加固装置对纸箱的易损坏部分加以保护。刘伟等^[4]通过结构创新,设计了一种可折叠压缩的快递纸箱,成型过程较为简便。边继庆^[5]设计了一种侧板设置有箱壁通孔的免胶带快递纸箱,通过特殊锁扣实现了锁箱与开箱,且箱体能够多次重复使用。

文中在前人的研究基础上,通过创新性结构设计,提出一种成型快速、结构防盗、可重复使用的免胶带快递瓦楞纸箱包装设计方案,旨在为可持续包装发展提供参考。

1 设计思路

首先,对现有快递纸箱包装进行市场调查和资料调研,对他人的改进方案进行分析和借鉴。其次,基于可持续发展理念确定包装材料,并进行结构创新,以期实现“质优(保护性好)价廉(成本低廉)”的设计目标。最后,对提案纸箱进行性能测试及成本核算,验证其是否满足快递包装要求^[6]。

2 设计方案

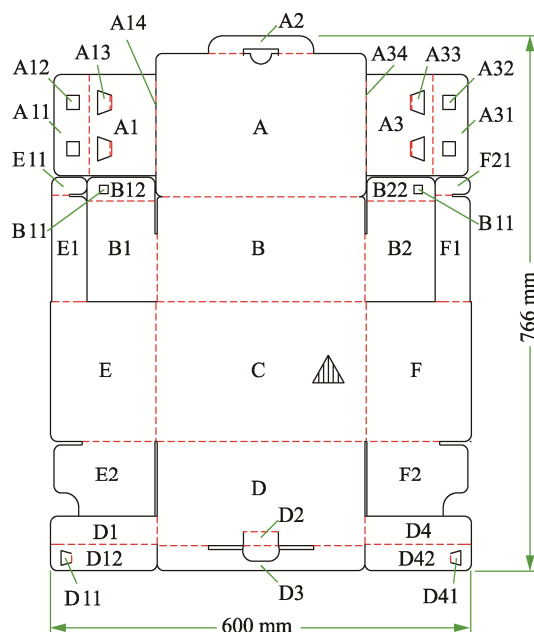
2.1 材料选择

目前包装材料中使用最多的是纸类和塑料^[7],考虑到环保性和可持续性,该设计选择瓦楞纸板作为包装材料。另外,提案纸箱属于运输包装范畴,依据对内装物价值的评估与内装物对抗压强度的要求^[8-9],故该设计适用于 A 楞、C 楞或 B 楞瓦楞纸板。

2.2 结构设计

经过反复尝试,提出了可反复使用的瓦楞纸箱包装设计方案见图 1。该纸箱结构有别于常见的 0201 型纸箱(普通开槽箱),主体采用管盘式结构设计,拥有一个完整的底面。底板 C 上下左右延伸出 4 块立板(B、D、E 和 F)。后板 B 带有左右两块半内端板(B1 和 B2)并连接盖板 A,其中盖板 A 又带有左右 2 块自锁襟片(A1 和 A3)与 1 块插舌(A2)。前板 D 带有左右 2 块延伸襟片(D1 和 D4)和 2 块插舌(D2 和 D3)。左端板 E 带有 1 块左锁合襟片(E1)与 1

块左前板(E2)。右端板 F 带有 1 块右锁合襟片(F1)与 1 块右前板(F2)。



A. 盖板 A1. 左自锁襟片 A11. 左锁合襟片 A12. 左矩形预留孔 A13. 左梯形襟片 A14. 左撕裂打孔线 A2. 插舌 A3. 右自锁襟片 A31. 右锁合襟片 A32. 右矩形预留孔 A33. 右梯形襟片 A34. 右撕裂打孔线 B. 后板 B1. 左内端板 B11. 左矩形预留孔 B12. 左锁合襟片 B2. 右内端板 B21. 右矩形预留孔 B22. 右锁合襟片 C. 底板 D. 前板 D1. 右延伸襟片 D11. 左梯形襟片 D12. 左锁合襟片 D2. 插舌 D3. 插舌 D4. 右延伸襟片 D41. 右梯形襟片 D42. 右锁合襟片 E. 左端板 E1. 左锁合襟片 E11. 左锁头 E2. 左内前板 F. 右端板 F1. 右锁合襟片 F11. 右锁头 F2. 右内前板

图 1 平面结构
Fig.1 Plane structure

成型过程大致可分为 3 步:成型箱体(图 2a—c),成型箱盖(图 2d—e),封箱(图 2f)。具体步骤阐述如下。

1) 首先在箱坯(图 2a)基础上将后板(B)内折 90°,再将内侧板(B1, B2)内折 90°,此时纸箱状态见图 2b;接着将锁合襟片(E1, F1)、内前板(E2, F2)内折 90°,再将侧板(E, F)内折 90°,并将使锁合襟片(E1, F1)卡合在后板(B)与内侧板(B1, B2)之间的开槽中(图 2c、图 2d)。

2) 将前板(D)中的延伸襟片(D1, D4)内折 90°,再将前板(D)内折 90°,其成型过程见图 2e;最后将延伸襟片中的锁合襟片(D12, D42)与插舌(D3)内折 90°、插舌(D2)外折 45°,并将锁合襟片(D12, D42)中的梯形襟片(D11, D41)扣入锁合襟片(B12, B22)中的矩形预留孔(B11, B21)中,此时纸箱状态见图 2f。

3) 将盖板(A)中的自锁襟片(A1, A3)中的锁合襟片(A11, A31)内折 180°使梯形襟片(A13,

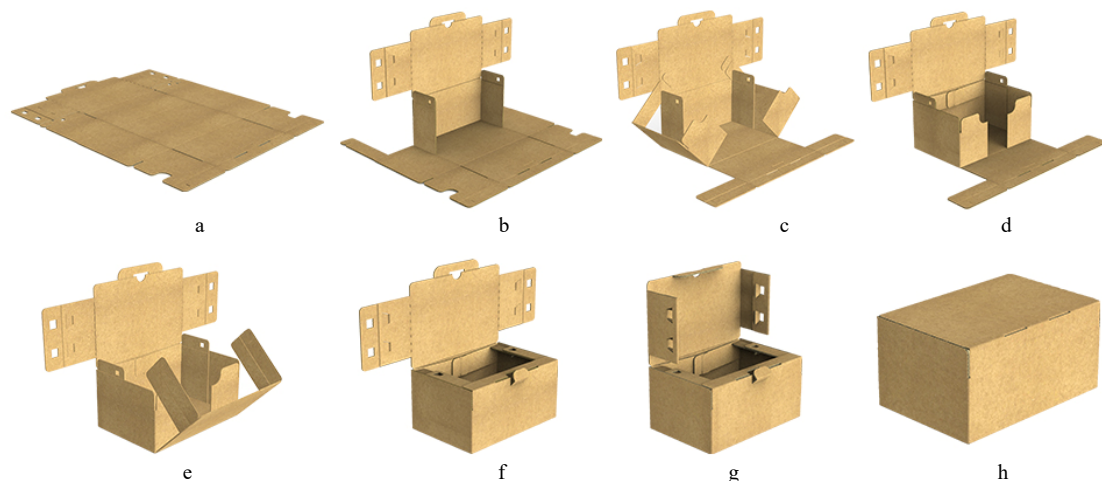


图2 成型过程

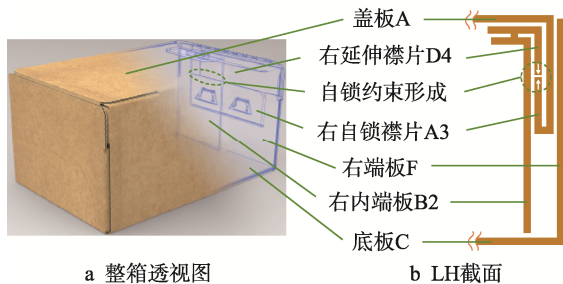
Fig.2 Formation process

A33)能够扣入到矩形预留孔(A12, A32)中,再将插舌(A2)内折90°,此时纸箱状态见图2e。

4)将盖板(A)内折90°,再将插舌(D2)内折135°即可完成封箱(图2h)。

2.3 自锁原理

盖板上的自锁襟片(A1和A3)是该纸箱实现免胶带封箱、自锁防盗启及重复使用功能的关键。封箱过程中,将成型好的自锁襟片(A1和A3)插入侧板(E和F)与内侧板(B1和B2)之间的空隙,内部结构见图3。以右侧襟片为例,自锁襟片(A1和A3)中的锁合襟片(A11和A31)与前板(D)中的延伸襟片(D1和D4)处于同一平面。由于纸张厚度与纸张间相互约束关系的存在,自锁襟片(A1和A3)一旦插入便会牢牢卡住,从而实现封箱功能。此时若想重新开箱,就必须破坏撕裂打孔线(A14和A34),从而实现结构防盗功能。为验证楞型对该结构防盗功能的影响,采用A、C及B楞3种不同楞型打样制作实验瓦楞纸箱,进行防盗性能测试。结果表明,该结构对不同楞型的瓦楞纸板均有良好的防盗效果和封箱效果。



a 整箱透视图

b LH截面

图3 自锁约束关键结构

Fig.3 Key structure of self-locking function

2.3 使用流程

提案纸箱在退出流通过程前能够反复使用3次,

可有效改善现有快递纸箱不可重复使用的现状,从而达到减少资源浪费,实现可持续发展的目的。

2.3.1 第1次使用

将右自锁襟片(A3)按成型过程第1步成型,左自锁襟片(A1)仅需将右锁合襟片内折180°,随后按成型过程中第2步封箱即可,见图4a。此时,仅右自锁襟片(A3)真正起到自锁功能,而左自锁襟片(A1)只起到封箱防尘作用。

2.3.2 第2次使用

第1次使用后,由于只有破坏左撕裂打孔线(A14)才能将纸箱打开,故此时右自锁襟片(A3)已与盖板(A)脱离,从内部取出作为右侧封箱防尘襟片使用。再将左自锁襟片(A1)按成型过程第2步成型,随后按成型过程中第3步封箱即可(图4b)。

2.3.3 第3次使用

第2次使用后,左右两自锁襟片(A1, A3)均已经与盖板(A)脱离,作为封箱防尘襟片使用。此时采用纸箱盖板的插舌(A2)与前板的插舌(D2, D3)锁合,配合少量胶带进行封箱,见图4c。

3.2 仿真分析

3.2.1 模型构建

使用SolidWorks软件建立提案纸箱的模型,为简化计算过程,将瓦楞纸板用等效板进行代替,等效板厚度为3mm,瓦楞纸箱尺寸设定为300mm×200mm×150mm。

瓦楞纸板属于正交各向异性板,因此构成纸箱的等效板参数需单独定义^[10]。另外,为简化计算过程,与各外板平行的内板均按外板参数定义,具体参数^[11]见表1。考虑到提案纸箱结构较为规整,故实验模型采用正方形单元进行网格划分,网格大小设置为10mm。

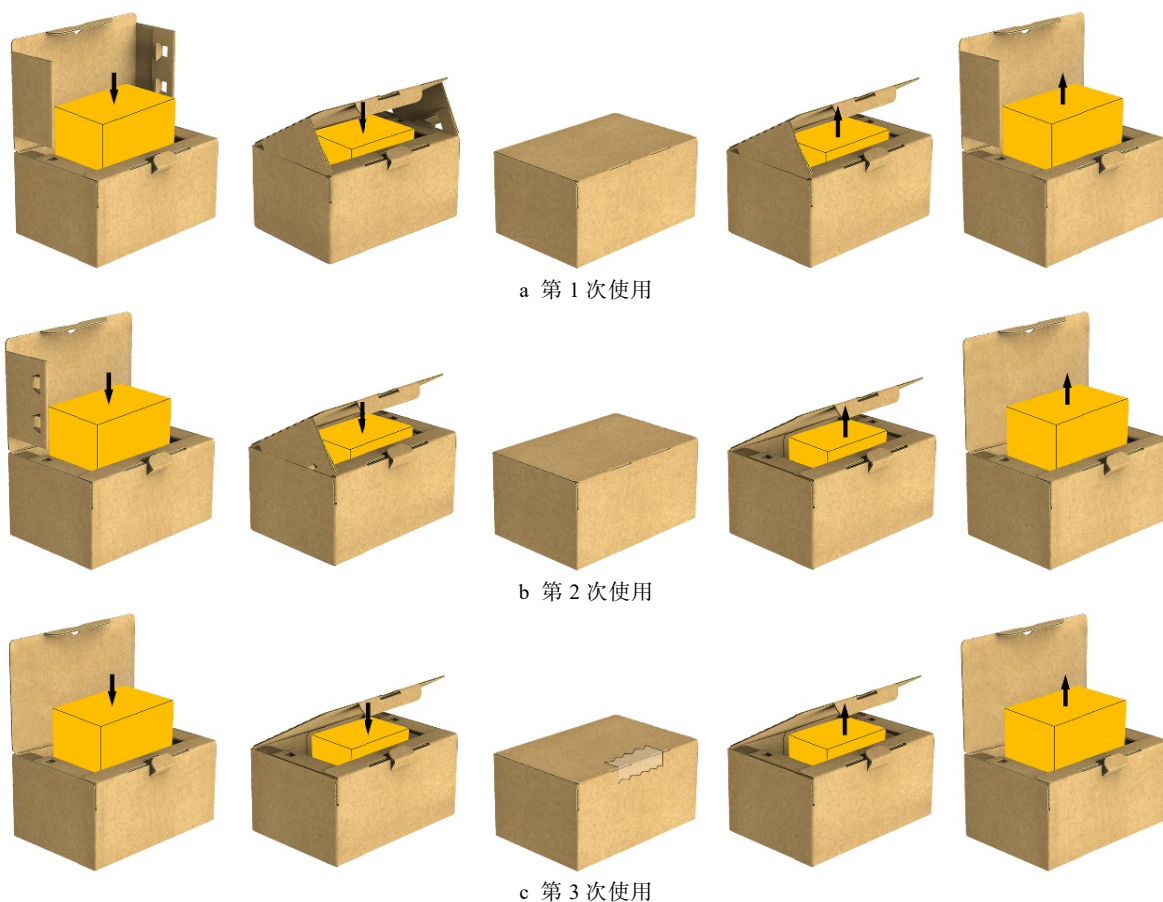


图 4 3 次使用流程

Fig.4 Flow chart of 3 times of use



a 试验场景



b 第 1 次跌落结果



c 第 2 次跌落结果



d 第 3 次跌落结果

图 5 验证试验后的箱体状态

Fig.5 Box status after verification tests

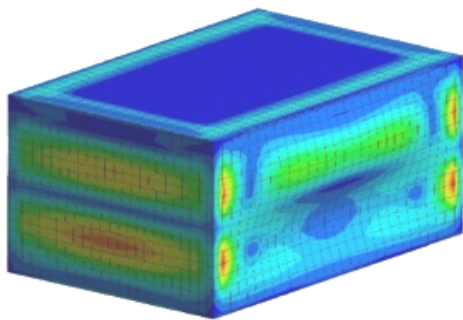
3.2.2 抗压分析

屈曲分析主要用于研究结构在特定载荷下的稳定性以及确定结构失稳的临界载荷。通过特征值屈曲分析,得到提案纸箱的特征值屈曲载荷为 2698 N,同规格的 0201 型纸箱的特征值屈曲载荷为 1906 N,提案纸箱较其高出 792 N,抗压性能提升约 42%。依据 GB/T 4857.4^[12]对纸箱施加一个比特征值屈曲载荷大 10%~20%的载荷作为模拟压力,其中特征值屈曲分析的第 1 阶屈曲模态的位移形态作为非线性屈曲分析的初始几何缺陷。其后在 LS-DYNA 专用后处理器 LS-Prepost 上输出求解结果,经相应转化即可得到

提案纸箱受压时的等效应力云图,见图 6a。由图 6a 可以看出,纸箱端板下方中心区域以及竖棱的等效应力最大,而盖板以及前板中心区域的等效应力最小,因此在受到垂直压力时,前板中心区域将发生内凹变形,这与实际空箱抗压结果保持一致,见图 6b。分析其原因在于纸箱多层面板结构起到了加强筋的效果,外端板、内端板以及外前板、内前板同时支撑纸箱,起到保护纸箱薄弱部位的作用,使纸箱能够承受更大的垂直压力。同时不难看出,纸箱的结构参数对其抗压性能有着显著影响,因此在设计时应给予足够的重视^[13]。

表 1 瓦楞纸板仿真参数
Tab.1 Simulation parameters of corrugated board

位置	弹性模量/MPa			剪切模量/MPa			泊松比		
	E_x	E_y	E_z	G_{xy}	G_{yz}	G_{xz}	μ_{xy}	μ_{yz}	μ_{xz}
前后板	456.7	738.1	3.6	13.4	224.7	8.3	0.01	0.35	0.01
左右板	3.6	738.1	456.7	8.3	224.7	13.4	0.01	0.35	0.01
上下板	456.7	3.6	738.1	13.4	8.3	224.7	0.01	0.01	0.35



a 抗压应力分布云图



b 空箱抗压实验结果

图 6 抗压分析结果
Fig.6 Results of compression analysis

3.2.3 跌落分析

将产品模拟物模型和缓冲结构模型加入提案纸箱模型中,即得试验用纸箱模型,总质量为 3.2 kg。其中产品模拟物采用有机玻璃,密度为 1180 kg/m³,弹性模量为 1840 MPa,泊松比为 0.34;缓冲结构采用聚乙烯发泡棉,其厚度为 30 mm,密度为 26 kg/m³,弹性模量为 2 MPa,泊松比为 0.2。纸箱跌落所接触的平面定义为混凝土地面,混凝土地面属于刚性材料,密度为 2500 kg/m³,弹性模量为 30 GPa,泊松比为 0.2。依据 GB/T 4857.5^[14]以及纸箱在不同运输方式下不同质量与跌落高度之间的关系^[15-16],文中仿真分析设置等效跌落高度为 100 cm,初速度为 0 m/s 的角跌落。该跌落仿真分析忽略表面摩擦,在重力的作用下自由落体至地面。

纸箱在跌落过程中的应力云图分布见图 7。依据

云图可以清楚看出模型应力分布随时间的变化。纸箱与地面发生碰撞时产生塑性形变,此时与地面相接触的箱角发生内凹(图 7a);其后,纸箱会发生轻微回弹(图 7b);当纸箱再次跌落时(图 7c),箱角所受应力远远小于初次跌落所承受的应力;最后,纸箱前板与地面发生轻微碰撞后逐渐静止,完成跌落过程(图 7d)。跌落过程中纸箱与地面碰撞所产生的最大应力为 0.643 MPa,小于瓦楞纸板的极限应力(0.884 MPa)。

此外,通过分析跌落时纸箱跌落角与内装物重心的加速度变化,可得到二者的加速度-时间曲线,见图 8。可以看出,角跌落过程中碰撞点受到的最大加速度为 109g,而经过纸箱的有效缓冲,产品模拟物重心处的最大加速度减小为 65g,吸收了约 40%的冲击载荷,这表明提案纸箱对内装物起到了良好的缓冲作用,纸箱具有良好保护性能。

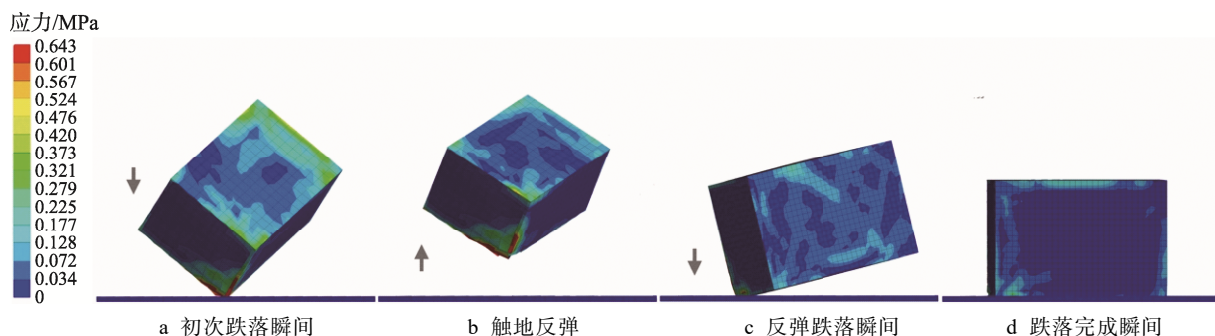


图 7 跌落应力分布云图
Fig.7 Diagram of drop stress distribution

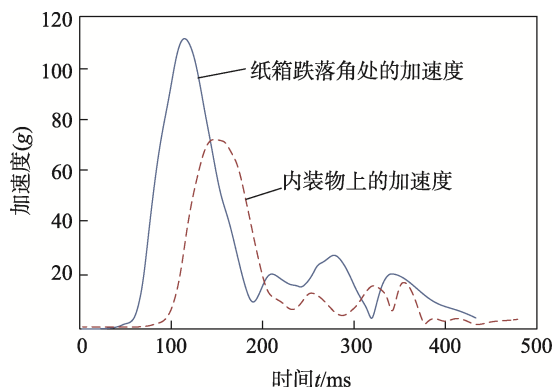


图 8 加速度-时间曲线
Fig.8 Acceleration-time curve

4 成本核算

为明确提案纸箱的经济效益,将提案纸箱与同规格同材料的 0201 型纸箱进行比较分析。这里,提案纸箱尺寸设定为 300 mm×200 mm×150 mm,材料选用定量为 200, 120, 200 g/m² 的 B 型瓦楞纸板。经市场调研知所用瓦楞纸板价格在 4000 元/t 左右,尺寸为 300 mm×200 mm×150 mm 的提案纸箱箱坯总面积约为 0.46 m²,计算得提案纸箱生产成本为 0.95 元/个;相同规格的 0201 型纸箱箱坯总面积约为 0.40 m²,其生产成本为 0.82 元/个。直观比较可知,提案纸箱成本(0.95 元/个)高于 0201 型纸箱成本(0.82 元/个),但考虑到提案纸箱可使用 3 次,则每次成本降低约 0.32 元/个。可见,提案纸箱比传统纸箱可降低约 60% 的成本,非常可观。

提案纸箱不仅可显著降低生产成本,还可以大大减少封箱时胶带的使用量。2019 年我国物流行业使用的快递箱约 635 亿个,按照每件快递平均使用 1 m 长胶带计,则消耗胶带总长度为 635 亿 m,可绕地球约 1584 圈。采用提案纸箱每年可减少胶带用量约 600 亿 m,可极大减轻环境压力。

5 结语

文中提出了一种新型瓦楞纸箱设计方案,该方案具有优点:设计有特殊的自锁结构,实现了免胶带封箱,并具有显开痕、防盗启功能;双层结构的侧板设计使纸箱拥有更高的垂直抗压强度和机械强度,并使自锁结构更加牢固可靠;成型快速、开启方便,可重复使用,且纸张利用率高,生产成本较普通纸箱低,适合自动化量产以及商业化推广。

此外,验证试验及仿真试验证明提案纸箱具备良好保护性及可靠性,具体结论:冲击验证试验表明多次跌落后纸箱仍具备良好密封性;等效跌落高度为 100 cm 的跌落试验表明提案纸箱可吸收约 40% 的外部冲击载荷,具有良好的缓冲性能。空箱抗压试验可

知,提案纸箱的最大抗压强度为 3236 N,较 0201 型纸箱抗压性能约提升了 42%。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家邮政局. 国家邮政局公布 2019 年邮政行业运行情况[EB/OL]. (2020-01-14) [2020-03-15]. <http://www.spb.gov.cn>. State Post Bureau of the People's Republic of China. Statistics of 2019 Postal Industry Operations by State Post Office[EB/OL]. (2020-01-14) [2020-03-15]. <http://www.spb.gov.cn>.
- [2] 戴铁军, 高新昕. 包装工业可持续发展与循环经济[J]. 生态经济, 2014, 30(2): 150—153. DAI Tie-jun, GAO Xin-xin. Sustainable Development of Packaging Industry and Recycling Economy[J]. Ecological Economy, 2014, 30(2): 150—153.
- [3] 杜洋, 汲传读, 刘洪辰. 重复使用型快递包装箱设计和派送自动化[J]. 科技创新与应用, 2015, 15: 47—48. DU Yang, JI Chuan-du, LIU Hong-chen. Design and Delivery Automation of Reusable Express Packaging[J]. Science Technology Innovation and Application, 2015, 15: 47—48.
- [4] 刘伟, 韩旭香, 杨丽. 一种可变形的棱状包装盒: 中国, 20874647U[P]. 2019-04-16. LIU Wei, HAN Xu-xiang, YANG Li. A Kind of Deformable Prismatic Packing Box: China: 20874647U [P]. 2019-04-16.
- [5] 边继庆. 免胶带安全环保包装箱: 中国, 208647571U [P]. 2019-03-26. BIAN Ji-qing. Safety and Environmental Protection Packing Box without Adhesive Tape: China: 208647571U[P]. 2019-03-26.
- [6] 仲晨, 朱丽, 赵冬菁, 等. 面向消费者体验的包装设计方法与应用进展[J]. 包装学报, 2018, 10(4): 8—16. ZHONG Chen, ZHU Li, ZHAO Dong-jing, et al. Consumer Experience-oriented Packaging Design Methods and Application Progress[J]. Packaging Journal, 2018, 10(4): 8—16.
- [7] 王建清, 陈金周. 包装材料学(第 2 版)[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2017: 1—2. WANG Jian-qing, CHEN Jin-zhou. Packaging Materials (2nd Edition)[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2017: 1—2.
- [8] 骆光林, 卢立新. 包装材料学[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2011: 178—181. LUO Guang-lin, LU Li-xin. Packaging Materials[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2011: 178—181.

- [9] 石岩, 张括, 王芳, 等. 全瓦楞纸板的红酒包装内衬设计及跌落分析[J]. 包装工程, 2017, 38(9): 135—140.
SHI Yan, ZHANG Kuo, WANG Fang, et al. Design and Dropping Analysis of Package Lining for Red Wine with All Corrugated Board[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(9): 135—140.
- [10] 张晶, 钱江, 陆恩黎, 等. 瓦楞/蜂窝复合纸板综合强度性能[J]. 江南大学学报(自然科学版), 2015, 14(4): 443—448.
ZHANG Jing, QIAN Jiang, LU En-li, et al. Study on the Comprehensive Strength Properties of Corrugated/Honeycomb Cardboard[J]. Journal of Jiangnan University (Natural Science Edition), 2015, 14(4): 443—448.
- [11] 王志伟, 方艳平. 湿度对瓦楞纸箱抗压强度的影响[J]. 包装学报, 2012, 4(1): 1—4.
WANG Zhi-wei, FANG Yan-ping. Effect of Humidity on Compression Strength of Corrugated Box[J]. Packaging Journal, 2012, 4(1): 1—4.
- [12] GB/T 4857.4, 包装运输包装件压力试验方法[S].
GB/T 4857.4, Package Test Method for Stress of Transport Packages[S].
- [13] 仲晨, 张珠, 王丽丽, 等. 管式预粘合纸箱结构参数与抗压强度的相关关系[J]. 包装工程, 2018, 39(5): 7—12.
ZHONG Chen, ZHANG Zhu, WANG Li-li, et al. Correlativity between Structural Parameters and Compressive Strength of the Tube-shaped Folder Boxes[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(5): 7—12.
- [14] GB/T 4857.5, 包装运输包装件跌落试验方法[S].
GB/T 4857.5, Package Drop Test Method for Transport Packages[S].
- [15] ZHONG Chen, LI Jiang, KAZUAKI K, et al. Measurement and Analysis of Shocks on Small Packages in the Express Shipping Environment of China[J]. Packaging Technology and Science, 2016, 29(8/9): 437—449.
- [16] 仲晨, 夏征, 张宜彩, 等. 汽车大灯的全纸运输包装设计[J]. 包装学报, 2018, 10(2): 23—28.
ZHONG Chen, XIA Zheng, ZHANG Yi-cai, et al. Design of All Paper Transport Packaging for Automotive Headlights[J]. Packaging Journal, 2018, 10(2): 23—28.