

## 结构设计制造

## 瓦楞纸箱自锁底结构的设计与分析

孙彬青, 刘艳粼, 刘慧伶, 王梓杉

(天津科技大学, 天津 300222)

**摘要:** **目的** 以奶品瓦楞纸箱的自锁底结构为研究对象, 研究不同自锁底结构的力学特性。**方法** 以奶品礼箱为对象, 设计 6 种不同自锁底结构、3 种不同尺寸的 18 种瓦楞纸箱, 根据国家标准, 分别进行空箱抗压实验与 95 cm 的跌落实验。**结果** 空箱抗压实验结果显示, 18 种自锁底箱体能够承受的最大压力在 1133~1437 N 之间, 其中 2 片粘合翼均在侧面板上的 X2-0 结构能够承受的最大压力最大, 达到了 1437 N; X2-5 结构能够承受的最大压力接近 X2-0 结构, 达到 1421 N。6 种不同自锁底结构的底面跌落数据显示, 底面跌落时最大加速度均在 51~59 m/s<sup>2</sup> 之间, 其中 X2-0 结构纸箱的薄弱角缩进尺寸最小, 为 11 mm。**结论** 对比了不同缩进量的 6 种自锁底结构的抗压和跌落试验结果, X2-5 型具有较大的抗压性能和耐冲击性能。

**关键词:** 瓦楞纸箱; 奶品箱; 结构设计; 自锁底

**中图分类号:** TB484.1; TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)03-0108-05

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.03.021

## Design and Analysis of Bottom Self-locking Structures for Corrugated Box

SUN Bin-qing, LIU Yan-lin, LIU Hui-ling, WANG Zi-shan  
(Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study the mechanical properties of the different bottom self-locking structures for milk corrugated boxes. 18 kinds of corrugated boxes were designed, including 6 kinds of different bottom self-locking structures with three sizes for the milk gift box. According to the national standard, empty container compression test and drop test at 95 cm height were conducted. The empty container compression experimental results showed that the maximum pressure of 18 kinds of bottom self-locking boxes was between 1133 N and 1437 N. X2-0 structure with two pieces of adhesive wings on the side panels could withstand the maximum pressure which reached 1437 N; the maximum pressure withstood by the X2-5 structure was closed to X2-0 structure's, which reached 1421 N. The bottom drop data of 6 kinds of different bottom self-locking structures showed that the maximum acceleration during bottom dropping was between 51 m/s<sup>2</sup> and 59 m/s<sup>2</sup>, and the minimum indent value of the weak angle was 11 mm from the X2-0 structure. Based on the comparison on the compressive and drop test results of 6 kinds of bottom self-locking structures with different indent values, the X2-5 structure has larger compressive property and impact resistance.

**KEY WORDS:** corrugated box; milk box; structural design; bottom self-locking

目前市场上的奶品箱体设计单一, 用户体验效果欠佳, 少数存在着过度包装的现象。决定承装性的箱底是瓦楞纸箱的重要结构, 市场上礼品瓦楞箱底结构

有快锁底、自锁底、插入式底等, 其中自锁底结构的应用最广泛<sup>[1-3]</sup>。自锁底结构是采用平板预粘合的加工方式, 使用时只要把箱体撑开, 盒底部就能够自动

收稿日期: 2017-06-30

基金项目: 2016 年天津科技大学大学生实验室创新基金 (1606A201); 2017 年“大学生创新创业训练计划”项目 (201710057195)

作者简介: 孙彬青 (1981—), 女, 天津科技大学讲师, 主要研究方向为包装结构设计。

恢复成锁盒的状态，是可以自动化生产的一种箱底结构<sup>[4]</sup>。为了改进市场上存在的问题，这里针对箱体自锁底结构设计进行改进，以达到增强抗压能力以及缩减用纸量的目的，最终实现缩减生产成本、增强用户体验、绿色环保的目的<sup>[5]</sup>。

1 饮料箱体的自锁底调研分析

选择市场上的奶品箱体为研究对象，奶品箱体在功能结构上种类繁多、使用量巨大，具有较高的研究价值。针对超市中不同种类和结构的饮料箱体进行调研，确定奶品箱体的礼盒式瓦楞纸箱后进行分析。通过同类型不同品牌的对比分析发现，目前市面上礼盒式纸箱主要有 2 种不同的自锁底结构，见图 1。

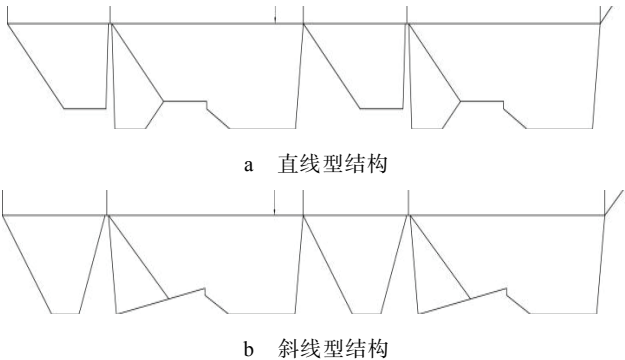


图 1 市场上奶箱体自锁底结构  
Fig.1 Bottom self-locking structure for milk box in market

自锁底结构的差异为从锁底重合点处到粘合片的线段形状，从而导致在模切版成型过程中裁切刀形状的差异。直线型结构（简称 Z1）是从锁底重合点处水平直线延伸至粘合板，再对称设计粘合面，该结构粘合面较大，见图 1a；斜线型结构（简称 X1）是从锁底重合点处斜线延伸至粘合板另一端，此处裁切刀不用弯曲变形，见图 1b。

2 瓦楞纸箱的实验分析方法

2.1 实验样品

根据市场调研结果,针对图 1 的 2 款自锁底结构，通过改变其 2 片粘合翼的位置，分别衍生设计出 2 款自锁底结构<sup>[6-7]</sup>，如 Z2-0，Z3-0，X2-0，X3-0，见表 1。同时，以市场上常见箱坯结构尺寸为基础（756 mm×469 mm），考虑自锁底结构的 3 种缩减量（0，5，10 mm）<sup>[8-9]</sup>，共计 18 种样品进行实验分析。样品选用材料结构为 250/250-125/1E 的瓦楞纸板制作，具体样品说明见表 1，其中 X2-0 代表第 2 种斜线型的缩减量为 0 mm。

表 1 6 种结构和 3 种尺寸的 18 种样品  
Tab.1 18 samples with 6 structures and 3 sizes

| 样品名称  | 结构 | 整体尺寸/mm | 粘合翼位置 |
|-------|----|---------|-------|
| Z1-0  |    | 756×469 | 主面板   |
| Z1-5  |    | 756×464 | 主面板   |
| Z1-10 |    | 756×459 | 主面板   |
| Z2-0  |    | 756×469 | 侧面板   |
| Z2-5  |    | 756×464 | 侧面板   |
| Z2-10 |    | 756×459 | 侧面板   |
| Z3-0  |    | 756×469 | 主+侧   |
| Z3-5  |    | 756×464 | 主+侧   |
| Z3-10 |    | 756×459 | 主+侧   |
| X1-0  |    | 756×469 | 主面板   |
| X1-5  |    | 756×464 | 主面板   |
| X1-10 |    | 756×459 | 主面板   |
| X2-0  |    | 756×469 | 侧面板   |
| X2-5  |    | 756×464 | 侧面板   |
| X2-10 |    | 756×459 | 侧面板   |
| X3-0  |    | 756×469 | 主+侧   |
| X3-5  |    | 756×464 | 主+侧   |
| X3-10 |    | 756×459 | 主+侧   |

2.2 实验条件及设备

实验条件：温度为 25 ℃，相对湿度为 39%。实验设备：PRODUCER1317 纸板打样机，北京邦友科技有限公司；GT-7001-DS 纸箱压力试验机，台湾高铁检测仪器有限公司；Lansmont PDT 跌落试验台，美国 Lansmont 公司。

2.3 方法

根据 GB/T 4857.4—2008《采用压力试验机进行的抗压和堆码试验方法》和 GB/T 4857.5—1992《包装运输包装件跌落试验方法》，对 18 种样品分别进行抗压实验与跌落实验测试，每种样品进行 3 个平行实验。

1) 空箱抗压实验。将试件放置于压力机正中间，以 10 mm/min 的速度向试验样品逐渐增加载荷，压缩

过程中同时记录压缩力及相应的变形;当压缩载荷剧增时停止实验,试验结束后取下试样,在电脑中保存试样测试结果<sup>[10-12]</sup>。

2) 跌落实验。内装物为总质量为 3 kg 的酸奶盒,速度传感器粘在箱体中间某罐酸奶盒的顶部。根据包装跌落测试高度标准,调整托架高度,跌落高度调整至 95 cm,将包装件放在跌落机平面上,按照一角三棱六面的跌落顺序对包装件进行跌落测试,并记录最大加速度曲线。试验结束后,在电脑中储存实验结果<sup>[13]</sup>。

### 3 实验结果与分析

#### 3.1 空箱抗压实验

1) 原尺寸下 6 种自锁底结构抗压试验的结果分析。不同缩减量下的抗压试验数据结果见图 2。由图 2a 可知,原尺寸下 6 种不同结构的自锁底能够承受的最大压力在 1143~1437 N 之间,其中 2 片粘合翼均在侧面板上的 X2-0 结构能够承受的压力最大,达到 1437 N。实验结果表明,原尺寸时 X2 型的抗压强度最好。

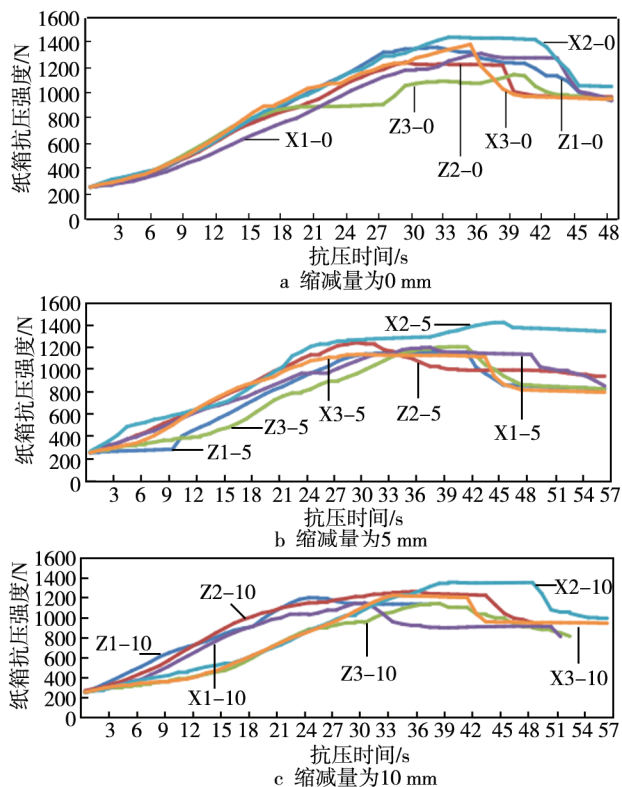


图 2 不同缩减量下的抗压试验数据结果

Fig.2 Results of compression test data under different indents

2) 在缩减量为 5 mm 的尺寸下,6 种自锁底结构抗压试验的结果分析。由图 2b 可知,在缩减量为 5 mm 的尺寸下,6 种不同结构的自锁底能够承受的最大压力在 1133~1421 N 之间,其中 2 片粘合翼均在侧面板上的 X2-5 结构能够承受的压力最大,达到了 1421 N。实验结果表明,在底板缩减了 5 mm 的情况下,X2

型的抗压强度最好。

3) 在缩减量为 10 mm 的尺寸下,6 种自锁底结构抗压试验的结果分析。由图 2c 可知,在缩减量为 10 mm 的尺寸下,6 种不同结构的自锁底能够承受的最大压力在 1141~1351 N 之间,其中 2 片粘合翼均在侧面板上的 X2-10 结构能够承受的压力最大,达到了 1351 N。实验结果表明,在底板缩减了 10 mm 的情况下,同样是 X2 型的抗压强度最好。

经过 6 种结构在 3 种尺寸下的实验测定结果表明,箱体自锁底结构在不同缩减量下,都是 2 片粘合翼均在侧面板上的 X2 结构的强度数据最好。X2-5 结构能承受的最大压力比市场现有的 Z1-0 和 X1-0 结构所承受的最大压力还要高。由此可见,X2-5 结构在抗压强度上能够符合市场压力要求。

#### 3.2 跌落实验

按照 GB/T 4857.5—1992,对 6 种不同结构的原尺寸纸箱进行一角三棱六面的跌落试验,测得数据见表 2。选择底面跌落数据位为分析对象,主要针对底面跌落时产生的最大加速度进行分析,实验结果表明,6 种不同自锁底结构的纸箱在底面跌落时最大加速度均在  $51\sim 59\text{ m/s}^2$  之间。由此可见,不同的自锁底结构在底面跌落时对于内装物产生的影响并不大,都能够达到比较好的防护效果。

表 2 原尺寸下 6 种自锁底结构的跌落最大加速度试验数据  
Tab.2 Test data of the maximum drop acceleration for 6 kinds of bottom self-locking structures under the original size  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

| 类型 | X1-0  | X2-0   | X3-0   | Z1-0  | Z2-0   | Z3-0   |
|----|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| 底面 | 54.23 | 58.18  | 58.63  | 51.53 | 51.2   | 52.33  |
| 角  | 45.65 | 35.06  | 57.6   | 64.6  | 56.17  | 62.42  |
| 长棱 | 55.56 | 41.92  | 44.15  | 57.99 | 47.53  | 45.94  |
| 宽棱 | 41.22 | 55.6   | 43.05  | 48.26 | 61.87  | 49.35  |
| 高棱 | 33.15 | 27.31  | 72.33  | 47.32 | 47.56  | 71.62  |
| 上面 | 56.04 | 104.76 | 75.84  | 84.72 | 110.42 | 119.09 |
| 左面 | 26.45 | 35.01  | 51.92  | 41.2  | 32.39  | 36.72  |
| 右面 | 45.91 | 17.12  | 53.69  | 42.2  | 65.09  | 39.58  |
| 前面 | 96.92 | 116.52 | 260.34 | 256   | 207.89 | 222    |
| 后面 | 93.78 | 84.3   | 52.87  | 56.94 | 69.28  | 56.28  |

通过测量最薄弱角的损坏缩进尺寸,来对比棱跌落与角跌落对纸箱产生的实际效果。实验测得,Z1-0,Z2-0,Z3-0 的最薄弱角缩进尺寸分别为 16.5, 15, 18 mm; X1-0, X2-0, X3-0 的最薄弱角缩进尺寸分别为 13, 11, 15.5 mm。实验结果显示,斜线型自锁底的 3 种结构缩进尺寸都要小于直线型自锁底的 3 种结构,其中 X2-0 结构纸箱的薄弱角缩进尺寸最小,为 11 mm。针对粘合之后的 6 种自锁底结构进行分析,见图 3,左上角均为每种结构的最薄弱角,棱跌落与角跌落均会对最薄弱角产生损坏影响。

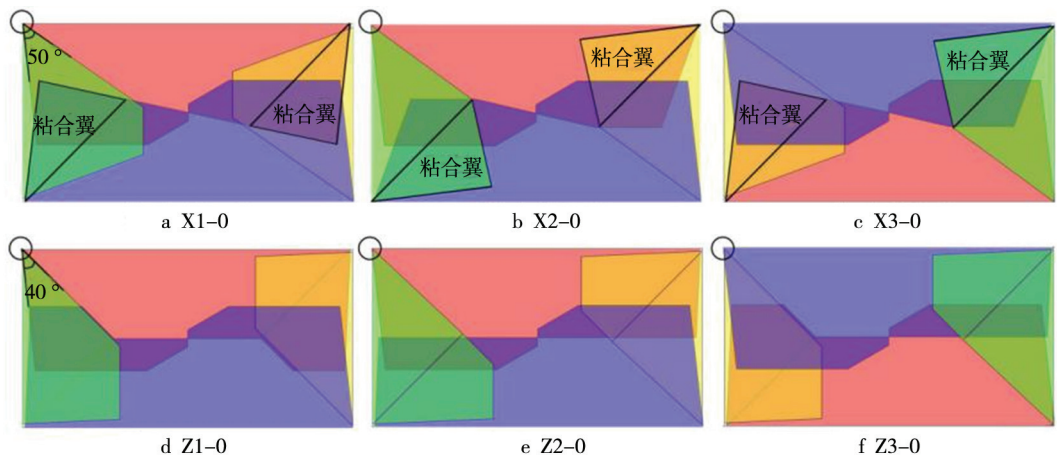


图 3 6 种自锁底结构粘合效果  
Fig.3 Adhesion effect of 6 bottom self-locking structures

对比直线型与斜线型自锁底结构薄弱角附近的底板结构，可知斜线型结构两板重合的角度为 50°，大于直线型结构的 40°，由此可见，斜线型自锁底的底角结构要比直线型自锁底稳固。3 种斜线型自锁底结构成型后的差异在于底板粘合面位置的不同，X1-0 自锁底的粘合面都离箱体底宽较近；X2-0 自锁底的粘合面都离箱体底长较近；X3-0 自锁底的粘合面一个离箱体底长较近、一个离箱体底宽较近，但是 2 片粘合位置均在底部对角线的同一侧。结合表 2 中的跌落数据可知，X1-0 与 X3-0 结构的宽棱跌落最大加速度数据较小，X2-0 与 X3-0 结构的长棱跌落最大加速度数据较小，但是 X3-0 结构在高棱跌落与角跌落时最大加速度远大于 X1-0 与 X2-0 结构。由此可见，2 片粘合翼在同一侧的纸箱综合跌落冲击较大，同时长棱的跌落冲击影响要大于宽棱。由表 2 中的跌落最大加速度值可知，X2-0 结构对最薄弱角结构的抗冲击效果优于其他 2 种结构。综合考虑空箱抗压实验以及跌落实验的数据，选取 X2-5 结构作为最佳设计方案。

4 箱体自锁底结构的拼版优化设计

结合实际生产时的拼版情况，未缩减尺寸下样品的整体尺寸为 756 mm×938 mm，见图 4a，拼版方式一般为平行排列<sup>[14—15]</sup>。为了优化拼版方式，将平拼改为正反拼，见图 4b，并且选择缩减量为 5 mm 的尺

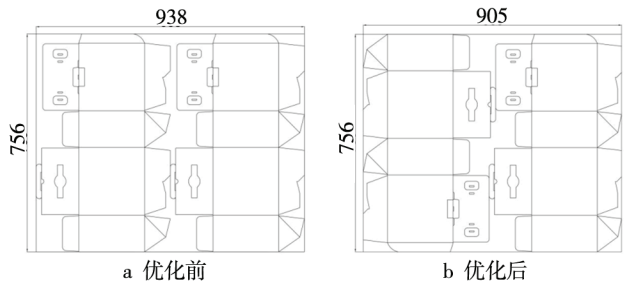


图 4 优化前后的纸箱拼版  
Fig.4 Carton makeup before and after optimization

寸结构进行生产，有效减少了瓦楞纸盒间的空隙，排版变得更为紧凑，节省了大量薄膜、面纸和瓦楞纸板，优化后的材料使用量节省了 3.5%。

5 结语

以奶品瓦楞纸箱为对象，对其 6 种不同结构、3 种不同尺寸的 18 种自锁底结构箱体进行了抗压试验与跌落实验。空箱抗压实验结果显示，18 种自锁底箱体能够承受的最大压力在 1133~1437 N 之间，其中 2 片粘合翼均在侧面板上的 X2-0 结构能够承受的最大压力最大，达到了 1437 N；2 片粘合翼均在侧面板上的 X2-5 结构能够承受的最大压力接近 X2-0 纸箱，达到 1421 N。6 种不同自锁底结构的底面跌落数据显示，底面跌落时最大加速度均在 51~59 m/s<sup>2</sup> 之间，其中 X2-0 结构纸箱的薄弱角缩进尺寸最小，为 11 mm。结合实验数据，采用正反拼版的 X2-5 瓦楞纸箱结构可以节省 3.5% 的材料使用量。

参考文献：

[1] FRANK B. Corrugated Box Compression: A Literature Survey[J]. Packaging Technology and Science, 2014, 27(2): 105—109.

[2] 柯莎. “一纸成型”提携式包装结构减量化设计研究与应用[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2016.

KE Sha. 'Forming a Piece of Paper' Packaging Structure Carrying Research and Application of Reductions [D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2016.

[3] 孙彬青, 马晓军, 范晓雪. 柜类家具的包装设计[J]. 西北林学院学报, 2013(3): 202—205.

SUN Bin-qing, MA Xiao-jun, FAN Xiao-xue. Packaging Design of Cabinet Furniture[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013(3): 202—205.

[4] 骆开荣, 胡仲勋. 锁底式纸盒底部自动折叠装置[J]. 包装工程, 2016, 37(11): 162—168.

- LUO Kai-rong, HU Zhong-xun. Automatic Folding Device at the Bottom of Bottom-locked Carton[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(11): 162—168.
- [5] 李剑华, 黄昌海. 自锁底纸箱底部结构角度尺寸计算分析[J]. 印刷技术, 2016(2): 24—26.
- LI Jian-hua, HUANG Chang-hai. Calculation and Analysis of the Bottom Structure Angle of Self Locking Carton[J]. Printing Technology, 2016(2): 24—26.
- [6] FU Chun-ying, JIANG Dong-sheng. Highly Elastic Corrugated Cardboard and Its Experimental Study on Strength Properties[J]. Research on Food Packaging Technology, 2014(3): 217—220.
- [7] 李洪贵. 一体式快装包装纸箱及其加工设备方案研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
- LI Hong-gui. Research on Fast Packaging Carton and Its Processing Equipment Solutions[D]. Wuxi: Jiang nan University, 2014.
- [8] VIGUIE J, DUMONT P J, DESLOGES I, et al. Some Experimental Aspects of the Compression Behavior of Boxes Made up of G-Flute Corrugated Boards[J]. Packaging Technology and Science, 2010, 23(2): 69—89.
- [9] 吴艳芬. 瓦楞纸箱结构设计尺寸压痕放缩量的一种算法[J]. 常州工学院学报, 2016(8): 43—46.
- WU Yan-fen. An Algorithm on the Indentation Scale for Corrugated Carton Structural Design[J]. Journal of Changzhou Institute of Technology, 2016(8): 43—46.
- [10] GB/T 4857.4—2008, 包装 运输包装件基本试验 第 4 部分 采用压力试验机进行的抗压和堆码试验方法 [S].
- GB/T 4857.4—2008, Packaging: Basic Tests for Transport Packages-Part 4: Compression and Stacking Tests Using a Compression Tester[S].
- [11] ZHANG Yao-li, CHEN Jing, WU Yue, et al. Analysis on Hazard Factors of the Use of Corrugated Carton in Packaging Low Temperature Yogurt during Logistics [J]. Procedia Environmental Sciences, 2011(10): 968—973.
- [12] VIGUIE J, DUMONT P J, ORGEAS L, et al. Surface Stress and Strain Fields on Compressed Panels of Corrugated Board Boxes, an Experimental Analysis by Using Digital Image Stereo Correlation[J]. Composite Structures, 2011, 93: 2861—2873.
- [13] GB/T 4857.5—1992, 包装 运输包装件 跌落试验方法[S].
- GB/T 4857.5—1992, Packaging: Transport Packages-Vertical Impact Test Method by Dropping[S].
- [14] GAUR P. Performance Testing and Comparison of Closures for Corrugated Shipping Containers[D]. Michigan: Michigan State University, 2007.
- [15] 吴艳芬. 基于剖析图法的瓦楞纸箱尺寸设计[J]. 北京印刷学院学报, 2016(2): 26—30.
- WU Yan-fen. Packaging Size Design of Corrugated Paper Based on the Profile Method[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2016(2): 26—30.