

压痕形状对瓦楞纸箱抗压强度影响的试验

巩桂芬^{a,b,c}, 刘雨杉^{a,b,c}

(陕西科技大学 a.陕西省造纸技术及特种纸品开发重点实验室

b.中国轻工业纸基功能材料重点实验室 c.轻化工程国家级实验教学示范中心, 陕西 西安, 710021)

摘要: **目的** 在不同形状的压痕条件下, 对瓦楞纸箱进行抗压试验, 研究纸箱的变形情况和抗压能力。**方法** 首先设计无压痕纸箱、一字型压痕箱、八字型压痕箱以及菱形压痕箱; 其次将各种压痕形状下的纸箱, 利用纸箱抗压试验机进行空箱抗压实验, 记录各自的最大压溃力; 最后对实验数据进行分析, 明确抗压强度与压痕形状的关系。**结果** 不同压痕形状对瓦楞纸箱的抗压强度有不同程度的影响, 其中菱形影响最大。菱形压痕通过阻碍纸箱变形趋势可提高瓦楞纸箱的抗压强度。**结论** 在瓦楞纸箱侧板上通过施加阻碍纸箱工字型变形的压痕(如菱形压痕), 可以增加瓦楞纸箱的抗压强度, 对瓦楞纸箱的生产设计具有参考意义。

关键词: 抗压强度; 压痕; 瓦楞纸箱

中图分类号: TB484 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)13-0172-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.13.025

Experiment on the Effect of Indentation Shape on the Compressive Strength of Corrugated Box

GONG Gui-fen^{a,b,c}, LIU Yu-shan^{a,b,c}

(a.Shaanxi Provincial Key Laboratory of Papermaking Technology and Specialty Paper Development b.Key Laboratory of Paper Based Functional Materials of China National Light Industry c.National Demonstration Center for Experimental Light Chemistry Engineering Education, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an, 710021, China)

ABSTRACT: The work aims to carry out compression test on corrugated box to study the deformation and compressive capacity of the box under the indentation conditions of different shapes. Firstly, the non-indentation box, the cross-type indentation box, the eight-shaped indentation box and the diamond-shaped indentation box were designed. Secondly, the boxes under various indentation shapes were subject to empty container compression test by the box compression tester to record their respective maximum crush force. Finally, the experimental data were analyzed to specify the relationship between compressive strength and indentation shape. Different indentation shapes had different effects on the compressive strength of corrugated boxes with diamond ones having the greatest influence. Diamond indentation could increase the compressive strength of corrugated boxes by hindering the deformation trend of the box. The compressive strength of the corrugated box can be increased by applying a diamond indentation, which hinders the indentation subject to I-shaped deformation of the box on the side plate of the corrugated box, and has reference significance for the production design of the corrugated box.

KEY WORDS: compressive strength; indentation; corrugated box

瓦楞纸板经过模切、压痕、钉箱或粘箱制成瓦楞纸箱。瓦楞纸箱是一种应用最广的包装制品, 用量一

直是各种包装制品之首。在运输包装和工业包装中, 抗压强度是检验瓦楞纸箱质量的重要指标之一。瓦楞

收稿日期: 2019-03-14

作者简介: 巩桂芬(1974—), 女, 陕西科技大学副教授, 主要研究方向为运输包装和包装机械。

纸箱抗压强度是指在压力试验机均匀施加动态压力下,箱体破损的最大负荷及变形量^[1-4]。对于瓦楞纸箱抗压强度的理论解析,国外多位学者从不同方向考虑,提出了多个经验公式如凯里卡特公式、马基公式、沃福公式等^[5]。Burgess等^[6]选择不同瓦楞楞向、不同边压强度的纸板,不同形状和不同尺寸的纸箱进行瓦楞纸箱抗压试验,其结果表明对瓦楞纸箱抗压强度影响最大的是纸板的边压强度,之后将实验结果和马基公式计算的结果做比较,推导出了相关系数。段艳建^[7]将纸箱的侧板简化为四边简支的正交各向异性薄板,以薄板的屈曲控制方程为依据得到瓦楞纸板的屈曲载荷,最后给出了瓦楞纸箱的屈曲载荷公式。Vescovini等^[8]通过线性稳定性分析研究了各向异性夹层板的整体屈曲,建立了二维控制方程。Li等^[9]研究了5层和7层瓦楞纸板的压缩过程,并通过能量守恒原理建立了薄板平台应力模型,通过实验与理论对比,验证了模型的有效性,为纸箱抗压强度研究打下了基础。Fadiji^[10]通过一种经过验证的有限元分析(FEA)模型,研究了瓦楞纸箱的结构性应用,并利用有限元分析了瓦楞纸板的压缩强度。

除了理论分析,各国学者对影响瓦楞纸箱抗压强度的因素也进行了研究。何理等^[11]通过实验得出了瓦楞纸箱的湿度与抗压强度的关系,即湿度越大,抗压强度损失越严重。滑广军等^[12]分析了长宽比(1~3)对纸箱抗压能力的影响,研究表明当长宽比为1.6左右时,抗压强度达到最大值。李晓敏等^[13]通过实验得出摇盖的高低压痕线高度差对纸箱抗压强度的影响很大,随着高度差的逐渐增大,抗压强度逐渐降低。仲晨等^[14]研究得出纸箱的抗压强度随着周长的增大而增大,并非全部随高度的增大而降低。刘强等^[15]研究了截面改变对纸箱抗压强度的影响,其结果得出侧

板数量的增多会使抗压强度值增大。目前,关于压痕形状对瓦楞纸箱抗压强度影响的研究鲜少有报道,文中拟通过对纸箱侧板增加压痕,研究不同压痕形状下瓦楞纸箱抗压强度的变化规律,对今后的瓦楞纸箱设计具有一定借鉴意义。

1 实验

1.1 材料与仪器

实验材料采用陕西天成纸业有限公司生产的瓦楞纸板,瓦楞形状为UV形,瓦楞楞型为B型,面纸、芯纸和里纸的定量分别为160,110,130 g/m²;箱型为0201,尺寸为240 mm×192 mm×192 mm。

主要设备有纸箱纸盒电脑打样机(DCZ-2516,AOK)、静态压缩试验机(CMT9504-BZ)。

1.2 方法

在瓦楞纸箱的侧板上设计一字型、八字型以及菱形等不同形状的压痕,同时打样无压痕纸箱作为对照组,见图1。实验前对试样进行预处理,按照GB/T 4857.2—2005《包装 运输包装件基本试验 第2部分:温湿度调节处理》将试样在温度为20℃、相对湿度为65%的恒温恒湿实验室中预处理24 h,随后按照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》对其进行抗压强度测试。

2 结果与分析

2.1 实验现象分析

瓦楞纸箱在受到压力试验机均匀施加动态压力

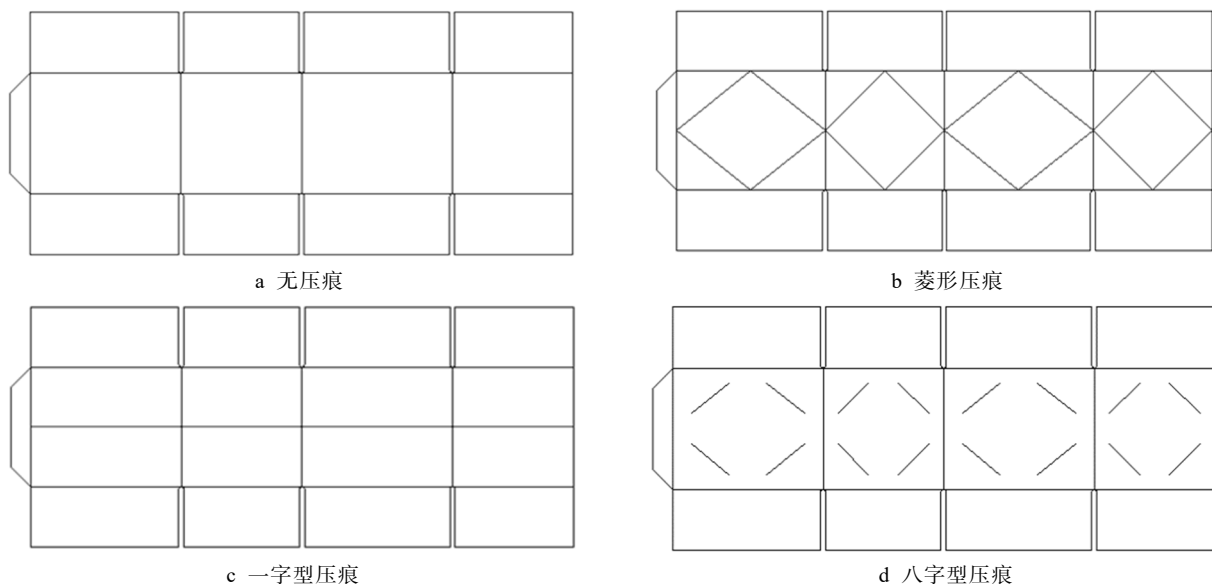


图1 不同压痕形状纸箱

Fig.1 Boxes of different indentation shapes

下, 箱体发生鼓胀, 此时继续施加载荷, 箱体主要承受压力的构件为4条侧棱, 当载荷继续增大, 棱结构受到破坏, 箱体最终被压溃。纸箱表面鼓胀见图2, 可以看出, 无压痕纸箱在压溃时箱体鼓胀形状近似工

字型; 一字型压痕纸箱与八字型压痕纸箱相较无压痕纸箱, 鼓胀程度较弱 (见图2c—d); 菱形压痕纸箱则仅在箱体下方有变形 (见图2b), 相较以上3类, 鼓胀最弱, 详情可见图2e。

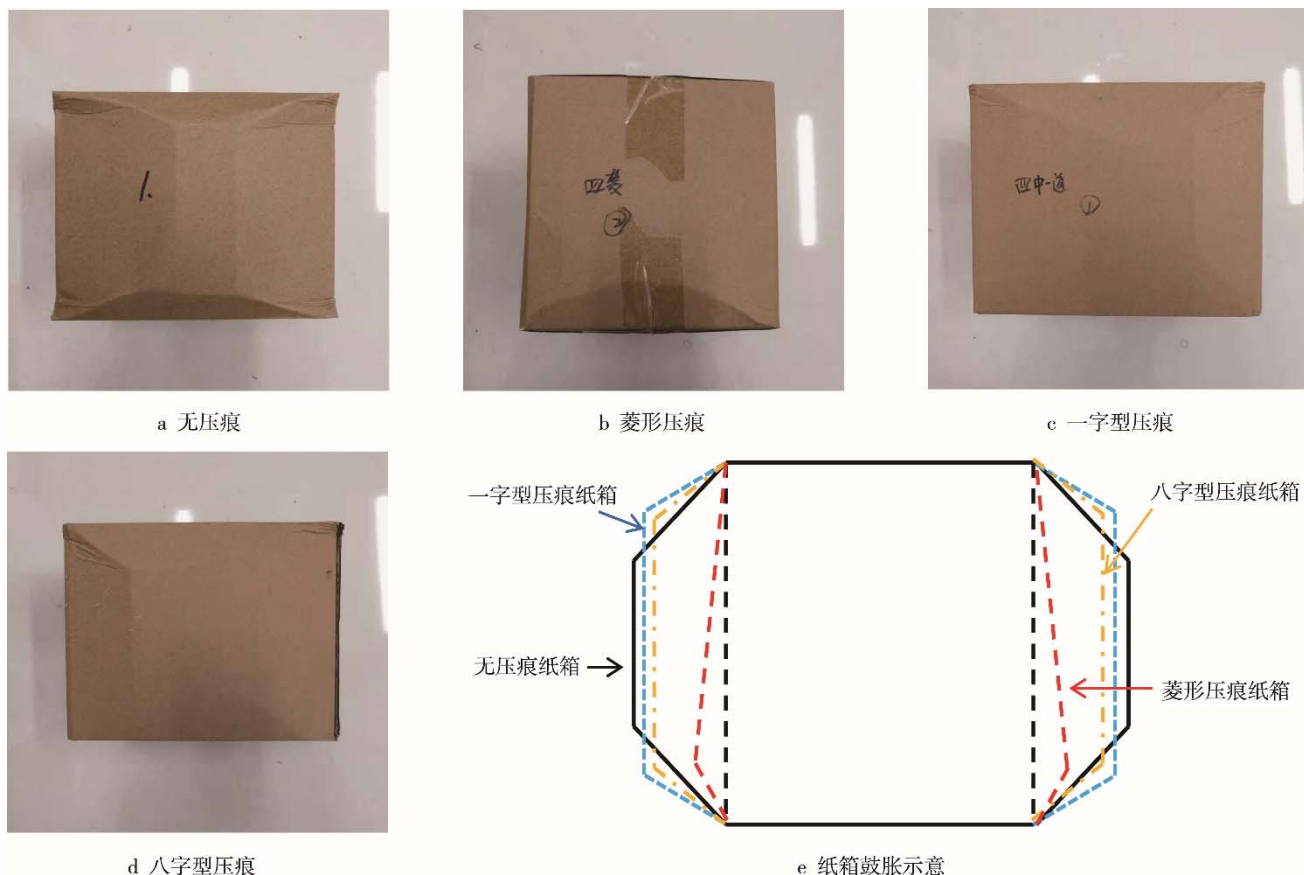


图2 纸箱表面鼓胀
Fig.2 Box surface bulging

2.2 实验数据分析

1) 不同的压痕形状对瓦楞纸箱抗压强度的影响见图3。当对瓦楞纸箱的侧板进行压痕处理时, 瓦楞纸箱的抗压强度发生变化。由图3可知, 一字型压痕

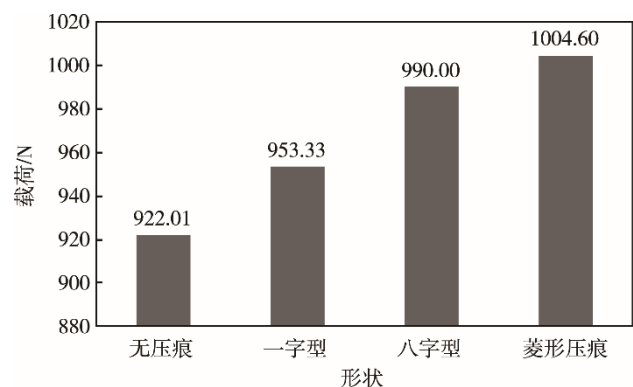


图3 抗压强度随压痕形状变化的结果
Fig.3 Results of compressive strength changing with indentation shape

对纸箱抗压强度影响最小, 八字型和菱形压痕对纸箱抗压强度的影响较大, 其中菱形压痕表现最为显著, 相较于无压痕纸箱, 其抗压强度提升约9%。

2) 不同压痕形状下瓦楞纸箱压缩实验所得到的力-位移曲线见图4。纸箱开始压缩时, 侧板受力变形,

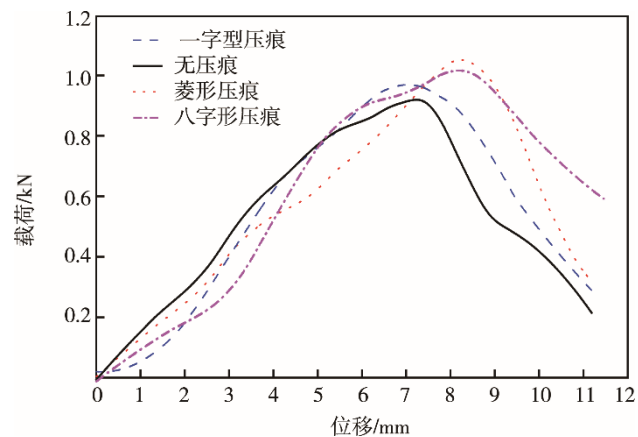


图4 纸箱力-位移曲线
Fig.4 Box force-displacement curve

纸箱顶部产生由4角发射至侧板中心的两条折痕线，持续压缩，纸箱底部产生相同的两条折痕线，此时纸箱鼓胀，侧板中部向外凸出，整体鼓胀形状如工字型，见图5。压力继续增大，到达纸箱最大负载时，纸箱被压溃。通过力-位移曲线可知，一字型压痕与无压痕纸箱到达最大力时，纸箱变形程度相近，而八字型和菱形压痕在承受最大压力时，压缩位移增加，即纸箱抵抗变形程度能力增强。纸箱受压后侧板呈现工字型鼓胀，当在纸板内侧施加菱形压痕时，菱形压痕减弱了纸箱4角发射至侧板中心的折痕，阻碍纸箱原有变形趋势，使得纸箱抗压能力增强。

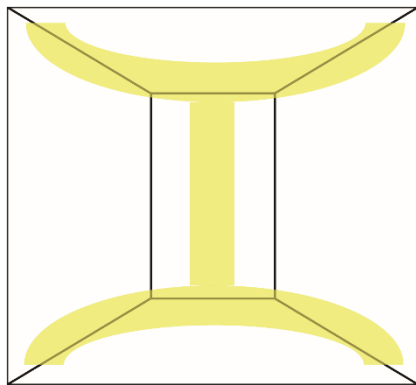


图5 纸箱侧板工字型鼓胀
Fig.5 Box side plate I-shaped bulging

3)根据菱形压痕与无压痕纸箱的变形结果分析，对其增加一组对照实验。具体数据归纳见表1。根据实验数据可知施加菱形压痕可以增强纸箱的抗压强度，使其抗压强度提升约10%，与前文数据结果一致。

表1 对照实验数据
Tab.1 Controlled test data

| 实验次数 | 最大载荷/N | |
|------|--------|--------|
| | 无压痕 | 菱形压痕 |
| 1 | 760.3 | 831.2 |
| 2 | 890.1 | 920.8 |
| 3 | 959.4 | 1140.0 |
| 4 | 989.3 | 1112.0 |
| 5 | 921.8 | 1022.0 |
| 平均值 | 904.18 | 1005.2 |

2.3 实验结论

在瓦楞纸箱的侧板上施加一字型、八字型以及菱形压痕，通过抗压实验，可得到如下结论。

1)压痕会对瓦楞纸箱的抗压强度产生影响，不同的压痕形状影响效果不一，其中菱形压痕影响最大。

2)纸箱受压后侧板呈现工字型鼓胀，当在纸板内侧施加菱形压痕时，由于菱形压痕阻碍了纸箱原有变形趋势，使得纸箱抗压能力增强，对实际生产具有

参考意义。

3 结语

瓦楞纸箱抗压强度的影响因素有很多，包括湿度、印刷面积、纸箱长宽比等，现有技术中虽有多种可以提高瓦楞纸箱抗压强度的方法，如增加纸板强度、增加护棱护角等，但这些方法都需要额外增加纸箱成本。文中通过实验分析可知在瓦楞纸箱侧板上施加阻碍纸箱工字型变形的压痕如菱形压痕，可以在不增加原料成本、额外工艺成本的条件下增强瓦楞纸箱的抗压强度，对实际生产生活具有重要意义。

参考文献：

- [1] GARTAGANIS P A. Strength Properties of Corrugated Containers[J]. TAPPI, 1975, 58(11): 102—108.
- [2] 王姿怡, 义艺, 孙锲. 快递包装的能耗现状及对策分析[J]. 包装工程, 2019, 40(3): 143—148.
WANG Zi-yi, YI Yi, SUN Qi. Analysis of Energy Consumption Status and Countermeasures of Express Packaging[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(3): 143—148.
- [3] PARK J, HORVATH L, WHITE M S, et al. The Influence of Package Size and Flute Type of Corrugated Boxes on Load Bridging in Unit Loads[J]. Packaging Technology and Science, 2017, 30(1/2): 33—43.
- [4] BAKER M, HORVATH L, WHITE M. Effect of Pallet Deckboard Stiffness on Corrugated Box Compression Strength[J]. Packaging Technology and Science, 2016, 29(4/5): 263—274.
- [5] 彭国勋. 瓦楞包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2013.
PENG Guo-xun. Corrugated Packaging Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2013.
- [6] BURGESS G. Prediction of Bending Strength of Long Corrugated Boxes[J]. Package Technology and Science, 2001, 14(2): 49—53.
- [7] 段艳健. 瓦楞纸箱的屈曲和后屈曲研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
DUAN Yan-jian. Buckling and Post-buckling of Corrugated Cartons[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [8] VESCOVINI R, D'OTTAVIO M, DOZIO L, et al. Buckling and Wrinkling of Anisotropic Sandwich Plates[J]. International Journal of Engineering Science, 2018, 130: 136—156.
- [9] LI X, WANG J, HUANG C X, et al. Mathematical Models for Predicting the Quasi-static Stress Characteristics of Corrugated Paperboard with Sinusoidal Core along the Longitudinal Compression[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2018, 149: 136—149.

- [10] FADIJI T, AMBAW A. Application of Finite Element Analysis to Predict the Mechanical Strength of Ventilated Corrugated Paperboard Packaging for Handling Fresh Produce[J]. *Biosystems Engineering*, 2018, 10(174): 260—281.
- [11] 何里, 丁毅, 贾丽萍. 不同湿度条件下瓦楞纸箱抗压强度的实验研究[J]. *包装工程*, 2012, 33(17): 68—69. HE Li, DING Yi, JIA Li-ping. Study of Corrugated Box Compression Strength under Different Humidity[J]. *Packaging Engineering*, 2012, 33(17): 68—69.
- [12] 滑广军. 大长宽比对纸箱抗压能力影响的研究与分析[J]. *包装工程*, 2010, 31(21): 45—47. HUA Guang-jun. Study and Analysis of Influence of Big Aspect Ratio Upon the Compression Strength of Corrugated Box[J]. *Packaging Engineering*, 2010, 31(21): 45—47.
- [13] 李晓敏, 张惠忠. 瓦楞纸箱摇盖的不同压痕线对抗压强度影响的研究[J]. *中国包装*, 2017, 37(10): 70—76. LI Xiao-min, ZHANG Hui-zhong. Study on the Effect of Different Indentation Lines on the Compressive Strength of Corrugated Carton Rocker Cover[J]. *China Packaging*, 2017, 37(10): 70—76.
- [14] 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. Relationship between Structural Parameters and Compressive Strength of Tubular Pre-bonded Cartons[J]. *Packaging Engineering*, 2018, 39(5): 7—12.
- [15] 刘强, 钱静, 范慧丽. 截面结构对纸箱抗压强度的影响及定量表征[J]. *包装工程*, 2018, 39(5): 33—37. LIU Qiang, QIAN Jing, FAN Hui-li. Effect of Section Structure on Compressive Strength of Carton and Quantitative Characterization[J]. *Packaging Engineering*, 2018, 39(5): 33—37.