

管式预粘合纸箱结构参数与抗压强度的相关关系

仲晨, 张珠, 王丽丽, 赵冬菁, 刘振
(曲阜师范大学, 日照 276826)

摘要: **目的** 研究管式预粘合纸箱结构参数与抗压强度的相关关系, 为优化纸箱结构设计以及提高其抗压强度提供依据。**方法** 首先设计普通、四棱台、花形锁等 3 种代表性管式预粘合纸箱, 进而确定 3 种纸箱影响抗压强度的关键结构参数。其次将各结构参数依次作为自变量, 其余结构参数作为常量, 利用纸箱抗压试验机进行空箱抗压试验, 记录各自的最大压溃力。最后对实验数据进行分析, 明确抗压强度与结构参数间的相关关系。**结果** 3 种纸箱的抗压强度均随着周长的增大而增大, 其抗压强度并非全部随高度的增大而降低。考虑周长因素时, 普通箱的抗压强度最佳; 考虑高度因素时, 花形锁箱的抗压强度最佳; 考虑箱型因素时, 当普通箱长宽比接近 1.0, 四棱台箱下上底比在 1.2~1.4 范围内, 花形锁箱的啮合点和花形锁圆心的连线与水平线所成夹角接近 30° 时, 抗压强度最佳。因结构参数的影响, 管式预粘合纸箱的抗压强度整体上显著优于标准开槽纸箱。**结论** 预粘合纸箱的关键结构参数对其抗压强度有显著影响, 在设计时应给予足够的重视。

关键词: 抗压强度; 结构参数; 相关关系; 瓦楞纸箱; 预粘合纸箱

中图分类号: TB484.1; TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)05-0007-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.05.002

Correlativity between Structural Parameters and Compressive Strength of the Tube-shaped Folder Boxes

ZHONG Chen, ZHANG Zhu, WANG Li-li, ZHAO Dong-jing, LIU Zhen
(Qufu Normal University, Rizhao 276826, China)

ABSTRACT: The work aims to study the correlativity between the structural parameters and compressive strength of the tube-shaped folder boxes, so as to provide the basis for the design optimization of box structure and its compressive strength. Firstly, three typical tube-shaped folder boxes, including the common, the quadrangular frustum pyramid and the flower-lock-tuck ones, were designed to further determine the key structural parameters of the three kinds of boxes that affected the compressive strength. Secondly, with each structural parameter as the independent variable in order, and the remaining structural parameters as the constants, the box compression tester was used to carry out the empty container compression test and record their respective maximum crush force. Finally, the experimental data were analyzed to clarify the correlativity between the compressive strength and the structural parameters. The compressive strengths of the three kinds of boxes increased with the increase of the circumference. However, not all the compressive strengths were reduced with the increase of the height. In considering the circumference, the compressive strength of the common box was the best. Whereas, the compressive strength of the flower-lock-tuck box was the best in considering the height. Given the box types, the compressive strength was the optimal under the conditions that the length to width ratio of the common boxes approached 1.0, the bottom to top ratio of the quadrangular frustum pyramid box was within the range of 1.2~1.4, and the angle between the line of coincident point-circle center and the horizontal line approached 30° of the flower-lock-tuck box. The compressive strength of the tube-shaped folder boxes was overall superior than that of the regular slotted boxes due to the effects of the structural parameters. The key structural parameters of the tube-shaped folder boxes significantly

affect the compressive strength. Therefore, more attention should be paid to the design of the tube-shaped folder boxes.

KEY WORDS: compressive strength; structural parameter; correlativity; corrugated box; folder.

瓦楞纸箱因其缓冲性能良好、质优价廉、环境友好等优势,逐渐取代木箱成为应用最广泛的运输包装容器。抗压强度是瓦楞纸箱最为重要的技术指标,诸多学者对瓦楞纸箱抗压强度的影响因素^[1-2]及优化设计^[3-4]等方面进行了相关研究。齐钢^[5]探究了边压强度、楞型、周长、高度临界值及堆码方式等对瓦楞纸板抗压强度的影响。吕维亮等^[6]通过局部抗压试验得出非均匀布载荷对纸箱抗压强度影响较大的结论。有些学者针对瓦楞结构对抗压强度进行了研究。刘超^[7]采用组合 BC 楞瓦楞纸板的方法,在瓦楞纸箱四角处设计立体三角柱瓦楞结构加强瓦楞纸箱的抗压强度。李洪贵等^[8]明确了适用于衬垫外箱一体式快装包装箱的切角结构对纸箱抗压强度的影响。此外,刘鑫^[9]、徐梦^[10]等针对外瓦楞纸箱开口、压痕线等对抗压强度的影响进行了研究,而王志伟^[11]及王俊丽^[12]等则针对温湿度、含水率等对抗压强度的影响进行了研究。

根据 FEFCO^[13](欧洲瓦楞纸箱制造商协会)提出的国际纸箱箱型标准,纸箱结构被分为八大类,编号由 01 至 07 以及 09,其中 02 类纸箱为开槽箱,目前最常用的 RSC 纸箱(Regular Slotted Case,标准开槽箱,编号 0201)就属于此类,关于瓦楞纸箱抗压强度的研究主要针对 02 开槽箱。随着人们生活水平的提高,预粘合折叠型纸箱因造型多样,兼具运输及销售功能,所以其应用越来越广泛,但目前对预粘合折叠型纸箱抗压强度的研究尚不多见。由此,这里通过分析预粘合折叠型纸箱的结构参数对抗压强度的影响,以期明确两者之间的相关关系,从而对预粘合纸箱设计的优化提供参考依据。

1 试验设计

首先,分析并明确影响预粘合瓦楞纸箱抗压强度的关键结构参数,进而以某一结构参数为变量,令其他结构参数为常量,以考察该结构参数对纸箱抗压强度的影响。其次,按照国家标准进行空箱压缩试验,记录纸箱最大压溃力数据,从而得到相应结构参数与纸箱抗压强度间的关系曲线。最后,根据实验数据分析抗压强度随结构参数变化的趋势,得到两者的相关关系,达到优化预粘合纸箱结构设计的目的。

2 试验方法

2.1 结构参数的确定

2 种预粘合纸箱见图 1,分别表示管式结构的 0713 型和盘式结构的 0759 型纸箱。不难看出,与 02

类开槽箱不同,预粘合纸箱箱型较为多变。文中首先设计 3 种代表性预粘合纸箱,箱型主体分别是应用范围最广的普通型、在结构造型上均有变化的四棱台型及花形锁型。因插入盖与快锁底均为销售包装常见结构,因此箱盖分别选用插入盖及花形锁盖,箱底均为快锁底^[14]。纸板楞向均平行于纸箱高度方向。3 种代表性管式预粘合纸箱平面结构及立体结构见图 2,分析可知其关键结构参数如下所述。

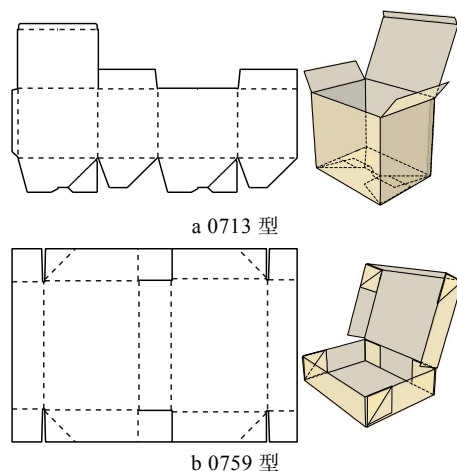


图 1 预粘合折叠型纸箱箱型示例
Fig.1 Examples of the tube-shaped folder boxes

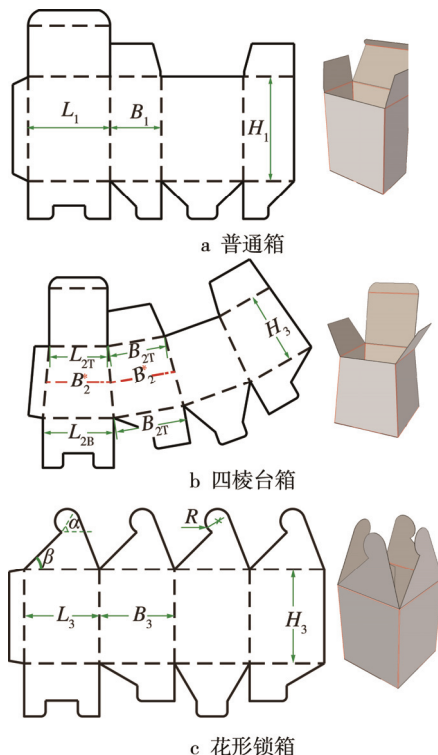


图 2 3 种代表性预粘合纸箱
Fig.2 Three typical tube-shaped folder boxes

1) 普通箱。高度为 H_1 ，长为 L_1 ，宽为 B_1 ，周长 $Z_1=2(L_1+B_1)$ ，长宽比 $R_L=L_1/B_1$ 。

2) 四棱台箱。周长 Z_2 、垂直高度 H_2 及下上底比 $R_D=\text{下底长 } L_{2B}:\text{上底长 } L_{2T}=\text{下底宽 } B_{2B}:\text{上底宽 } B_{2T}$ 。考虑到四棱台箱的侧面为等腰梯形，上、下底的周长不同，因此这里将四棱台箱长、宽侧面梯形的水平中线分别作为等效边长 L_2^* 和 B_2^* ，并定义该箱型的等效周长 $Z_2^*=2(L_2^*+B_2^*)$ 。

3) 花形锁箱。周长 Z_3 、高度 H_3 及圆心和啮合点连线与水平线所成夹角 α 。

考虑到实际应用中纸箱 R_L 或 R_D 大于 2 的情况极少，花形锁盖大小不应超出盒身，夹角 α 过小啮合不严、过大不易成型，以及实验室实际条件，对各参数分别设定 5 种尺寸进行试验，具体数据归纳见表 1—3。

表 1 普通管式预粘合纸箱结构参数
Tab.1 Structural parameters of the common tube-shaped folder boxes

编号	周长 Z_1/mm	高度 H_1/mm	长宽比 R_L
1	300	100	1.0
2	340	125	1.3
3	380	150	1.5
4	420	175	1.7
5	460	200	2.0

表 2 四棱台管式预粘合纸箱结构参数
Tab.2 Structural parameters of the quadrangular frustum pyramid box

编号	等效周长 Z_2^*/mm	高度 H_2/mm	下上底比 R_D
1	300	100	1.2
2	340	125	1.4
3	380	150	1.6
4	420	175	1.8
5	460	200	2.0

表 3 花形锁管式预粘合纸箱结构参数
Tab.3 Structural parameters of the flower-lock-tuck box

编号	周长 Z_3/mm	高度 H_3/mm	夹角 $\alpha/(^\circ)$
1	240	100	30
2	320	125	40
3	400	150	45
4	480	175	50
5	560	200	60

2.2 实施情况

根据前述结构参数，使用纸盒打样机(Kongsberg V 系列，比利时 Esko 公司) 制作试验样品。考虑到预粘合纸箱兼有销售功能，故材料均使用 E 楞瓦楞纸板(日本联合株式会社青岛工厂)。按国标规定的试

验方法^[15]测得该纸板在标准温湿度环境下的边压强度为 5582.67 N/m。利用纸箱抗压试验机(i-boxtek 1710，济南兰光机电技术有限公司) 对试验样品分别进行空箱抗压试验。在试验过程中，每组进行 5 次重复实验，将求得的平均值作为该组试验的实验数据，以此分析抗压强度与结构参数的相关关系。整体试验流程见图 3。

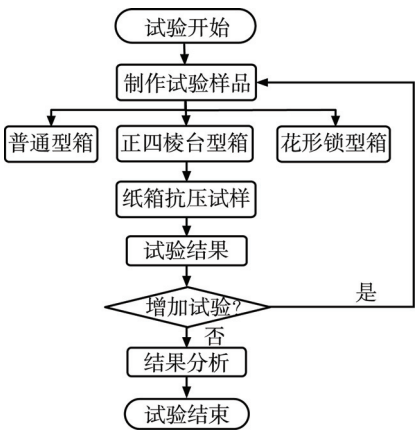


图 3 试验流程
Fig.3 The flowchart of the experiments

在试验过程中，3 种纸箱样品的参变量结构参数设计如下所述。

1) 普通箱。考察周长 Z_1 参数时， $R_L=1.0$ ， $H_1=100$ mm， Z_1 以 40 mm 为刻度由 300 mm 增至 460 mm。考察高度 H_1 参数时， $R_L=1.0$ ，边长 $L_1=B_1=150$ mm， H_1 以 25 mm 为刻度由 100 mm 增至 200 mm。考察长宽比 R_L 参数时， $H_1=100$ mm， $Z_1=300$ mm， R_L 由 1.0 增至 3.0。

2) 四棱台箱。考察各因素时 R_L 均固定为 1.0，即 $L_2=B_2$ 。考察等效周长 Z_2^* 时， $H_2=100$ mm， $R_D=1.2$ ，等效周长 Z_2^* 由 300 mm 逐渐增至 460 mm。考察高度 H_2 参数时， $L_{2T}=92$ mm， $L_{2B}=110$ mm，故 $Z_2^*=400$ mm； H_2 以 25 mm 为刻度由 100 mm 增至 200 mm。考察下上底比 R_D 参数时， H_2 和 L_{2B} 分别固定为 100 和 90 mm， R_D 以 0.2 为刻度由 1.2 增至 2.0。

3) 花形锁箱。考察各因素时 R_L 均固定为 1.0，即 $L_{3T}=B_{3T}$ ， $L_{3B}=B_{3B}$ 。考察周长 Z_3 参数时，保持 $H_3=100$ mm， $\alpha=24^\circ$ ， $R=24$ mm， Z_3 由 240 mm 增至 560 mm。考察高度 H_3 参数时，保持边长 $L_3=B_3=150$ mm， $\alpha=24^\circ$ ， $R=24$ mm， H_3 以 25 mm 为刻度由 100 mm 增至 200 mm。考察 α 参数时，设计主体为 $L_3=B_3=H_3=100$ mm 的正立方体， α 以 10° 为刻度由 30° 增至 60° 。

3 试验结果及数据分析

3.1 普通管式预粘合纸箱

周长、高度和长宽比这 3 个结构参数与普通管式

预粘合纸箱抗压强度的关系见图4。由图4a可知, 纸箱抗压强度随周长的增加呈明显增大趋势。因为此时 $R_L=1.0$, 侧板受力边尺寸随周长的增大而增大, 故抗压强度也逐渐增大。由图4b可知, 该曲线呈“W”形变化趋势。以高度150 mm为分界点, 此时纸箱为正方体, 其抗压强度最大。当高度在100~150 mm区间时, 纸箱为矮胖形, 抗压强度先随高度的增加而趋于下降, 在高度为125 mm(该区间中点)时为最低点, 此处高宽比为1:1.2, 之后抗压强度回升。当高度在150~200 mm区间时, 纸箱呈瘦高状, 抗压强度同样先下降, 至高度为185 mm(约为该区间中点)时最低, 此时高宽比约为1:0.8, 之后抗压强度逐渐上升。由图4c可知, 抗压强度总体随长宽比的增大而减小, 这是因为周长设计为固定值300 mm时, 随着长宽比的增加, 侧板受力边尺寸递减。

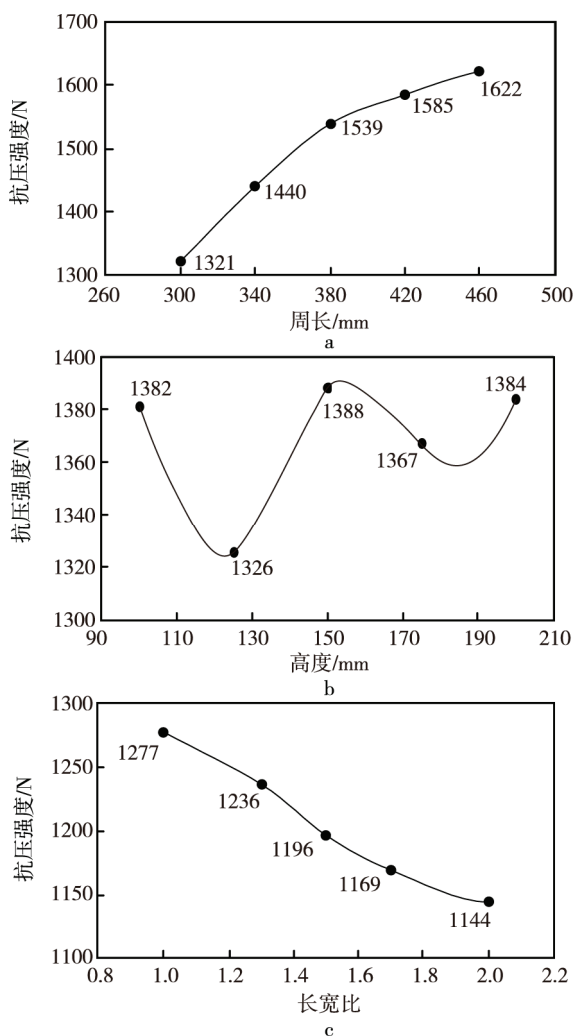


图4 普通管式预粘合纸箱的强度曲线

Fig.4 Strength curves of the common tube-shaped folder box

3.2 四棱台管式预粘合纸箱

周长、高度及下上底比这3个结构参数与四棱台管式预粘合纸箱抗压强度的关系曲线见图5。由图5a

可知, 抗压强度在开始时随等效周长 Z_2^* 的增大而增加, 在 Z_2^* 增至400 mm时达到最大, 随后逐渐降低。考虑到此时纸箱高度 H_2 为100 mm, $Z^*=400$ mm, 意味着等效长边长 L_2^* =等效宽边长 $B_2^*=100$ mm, 即此时四棱台箱可视作边长为100 mm的正立方体造型, 故可以认为该箱抗压强度在其等效箱型为正立方体时最大。由图5b可知, 四棱台箱抗压强度随高度的增大而显著增加。这是因为随纸箱高度增大, 其造型结构更趋近于棱柱形状, 作为垂直载荷主要受力部位的纸箱垂直棱更趋于垂直, 有利于载荷的分散, 故抗压强度逐渐增大。由图5c可知, 抗压强度随下上底比的增大而递减, 这应该是因为下底周长保持不变, 随着下上底比的增大, 侧板受力边尺寸逐渐减小所致。

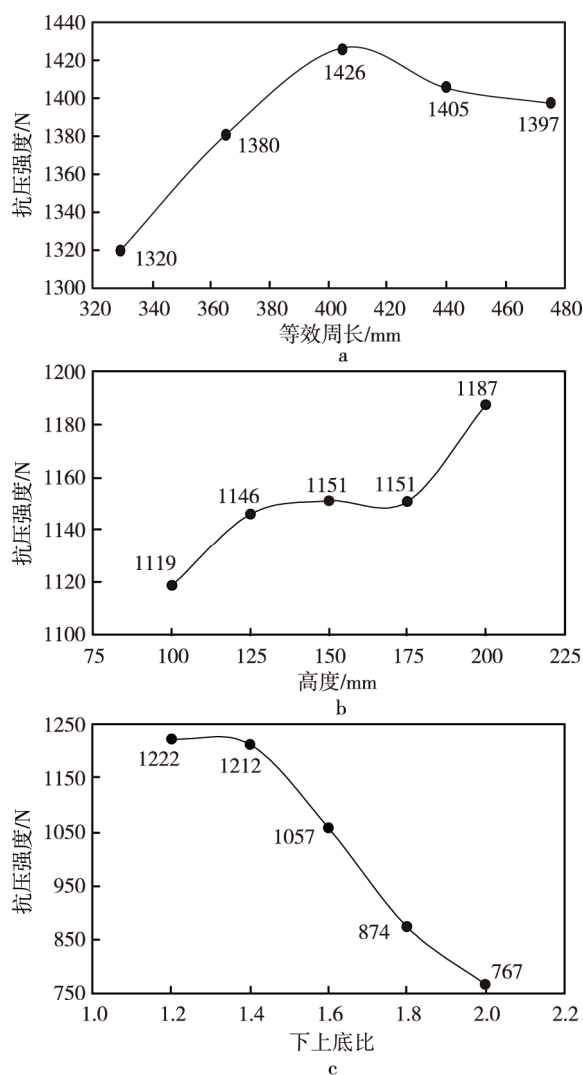


图5 四棱台管式预粘合纸箱的强度曲线

Fig.5 Strength curves of the quadrangular frustum pyramid box

3.3 花形锁管式预粘合纸箱

花形锁箱除了高度及周长因素外, 由于其盖的形式多变, 故又考察了花形锁斜线角度 α 的影响, 所得

结果见图 6。由图 6a 可知, 抗压强度随周长的增大而增大, 这是因为长宽比为固定值, 侧板受力棱边的尺寸随周长的增大而增大, 故抗压强度逐渐增大。由于高度的增加, 纸箱在承受压力载荷时, 其垂直箱体的挠度逐渐增大, 垂直箱体凹陷现象愈加明显, 故导致其抗压强度呈逐渐减小的趋势, 见图 6b。由图 6c 可知, 随着 α 逐渐增大, 啮合处应力集中更加明显, 故抗压强度逐渐减小。同时也注意到, 当图 2c 中所示角度 $\alpha=\beta=45^\circ$ 时, 此时花形锁啮合点位于 β 的斜线与顶边垂直平分线的交点, 抗压强度短暂上升, 但这仍无法改变总体逐渐下降的趋势。

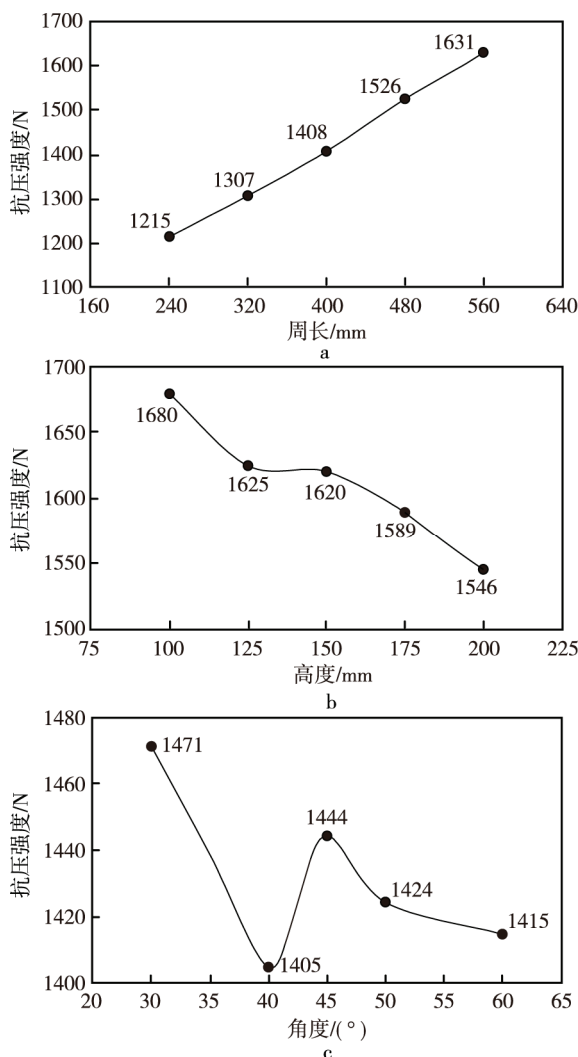


图 6 花形锁管式预粘合纸箱的强度曲线
Fig.6 Strength curves of the flower-lock-tuck box

3.4 相同结构参数的对比分析

因为 3 类管式预粘合纸箱的抗压强度均可被周长和高度参数影响, 所以这里对这 2 个关键结构参数分别进行横向对比分析。考虑到 RSC 纸箱的广泛应用, 在此增加 RSC 纸箱的抗压实验数据作为强度参考依据。在考察 RSC 纸箱周长及高度影响因素时, 相应的参数设计均和普通管式预粘合纸箱相同, 试样

所用材料与前述试验材料相同。4 种箱型的周长及高度数据分析结果见图 7, 其中四棱台周长数据已转换为等效周长。通过对比分析可得到如下结论。

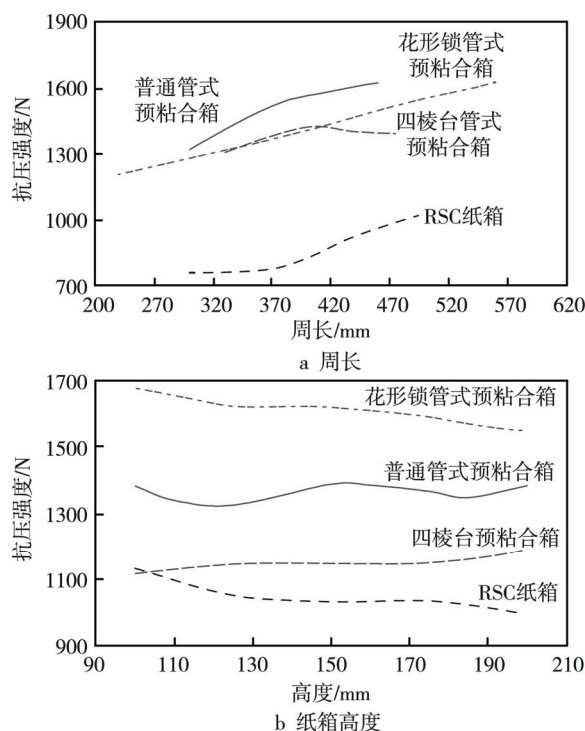


图 7 周长、纸箱高度与抗压强度的相关关系曲线
Fig.7 Correlative curves of the circumference, box height and compressive strength

1) 不论何种箱型, 其抗压强度随周长的增加均呈上升趋势, 这与纸箱抗压强度计算公式 (如沃福公式)^[14]的理论结果一致。各类纸箱抗压强度随高度增加的变化趋势并不一致, RSC 类箱及花形锁预粘合箱的抗压强度逐渐下降, 而四棱台预粘合箱呈上升趋势, 普通预粘合箱无明显变化。

2) 在周长或高度相等的情况下, 预粘合箱型的抗压强度均显著优于 RSC 纸箱, 说明结构对强度有较大影响。究其原因, 当纸箱受到垂直载荷时, 侧板将出现横向挠曲, 即弯鼓现象, 借此吸收外部能量。已有大量研究表明, 纸箱侧板吸收能量的能力是不同的, 垂直边附近的侧板由于纸箱纵向压痕线的约束而承受大部分载荷。RSC 纸箱因上下部均为摇盖结构, 承压时无法相互咬合分散应力, 而预粘合箱的盖、底结构均为可相互咬合的襟片或插舌, 使得纸箱纵向压痕线约束得更为紧密, 故该箱型抗压强度优于 RSC 纸箱。

3) 由图 7a 可知, 预粘合纸箱的 3 种箱型中, 普通箱型的强度因其侧板始终呈垂直状态, 且盖、底部的横向压痕线均有多条, 故抗压强度优于其他 2 种箱型。四棱台箱因侧板并非完全处于垂直状态, 因而其抗压强度较普通型及花形锁型均偏低。

4) 由图 7b 可知, 预粘合纸箱的 3 种箱型中, 高度相等时, 四棱台预粘合纸箱因侧板受力边的尺寸最小致使其抗压强度最小, 而花形锁预粘合纸箱因顶部有啮合结构, 抗压强度优于普通预粘合纸箱为最大。

4 结语

针对管式预粘合纸箱兼具运输销售功能这一特点, 设计了 3 种预粘合折叠纸箱, 对各关键结构参数分别进行空箱抗压实验, 通过数据分析及对比明确了结构参数对预粘合纸箱抗压强度的影响: 考虑周长因素时, 普通箱的抗压强度最佳; 考虑高度因素时, 抗压强度更好的结构是花形锁箱; 考虑箱型因素时, 当普通箱长宽比接近 1.0, 四棱台箱下上底比在 1.2~1.4 范围, 花形锁箱的 α 角接近 30° 时, 抗压强度最佳; 普通箱的周长、四棱台箱的高度及花形锁箱的周长均与抗压强度有正向关系; 管式预粘合纸箱的抗压性能在整体上显著优于 RSC 类纸箱。

参考文献:

- [1] 岳青青, 王振华. 瓦楞纸箱抗压强度的影响因素及设计和检测[J]. 印刷技术, 2016(4): 43—45.
YUE Qing-qing, WANG Zhen-hua. The Factors Influencing the Compressive Strength of Corrugated Carton and the Design and Detection[J]. Printing Technology, 2016(4): 43—45.
- [2] 赵新伟, 陈振强, 王海燕, 等. 瓦楞纸箱塌箱原因及解决对策[J]. 印刷技术, 2015(14): 42—44.
ZHAO Xin-wei, CHEN Zhen-qiang, WANG Hai-yan, et al. Reason and Solutions for Crush of Corrugated Carton[J]. Printing Technology, 2015(14): 42—44.
- [3] 郑美琴. 瓦楞纸箱抗压强度的优化设计探讨[J]. 山东轻工业学院学报, 2013, 27(1): 37—40.
ZHENG Mei-qin. Probing into Optimum Design on Compressive Property of Corrugated Carton[J]. Journal of Shandong Polytechnic University, 2013, 27(1): 37—40.
- [4] 李广才. 合理设计提高瓦楞纸箱抗压强度[J]. 印刷技术, 2010(10): 33—34.
LI Guang-cai. Reasonable Design to Improve the Compressive Strength of Corrugated Box[J]. Printing Technology, 2010(10): 33—34.
- [5] 齐钢. 瓦楞纸板楞形及边压强度对瓦楞纸箱抗压强度的研究[J]. 绿色包装, 2017(10): 66—68.
QI Gang. Study on the Influence of the Form and Edge Crush Test of Corrugated Board on the Compressive Strength of Corrugated Box[J]. Green Packaging, 2017(10): 66—68.
- [6] 吕维亮, 王军. 非均布载荷下瓦楞纸箱的承载性能[J]. 包装工程, 2016, 37(23): 1—5.
LYU Wei-liang, WANG Jun. Load-carrying Property of Corrugated Cartons under Non-uniform Load[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(23): 1—5.
- [7] 刘超. 提高运输包装用瓦楞纸箱抗压强度的措施[J]. 印刷杂志, 2015(10): 59—60.
LIU Chao. Measures on Enhancing Compressive Strength of Corrugated Box[J]. Printing Field, 2015(10): 59—60.
- [8] 李洪贵, 苏婷, 张新昌. 一种异形多边形瓦楞纸箱的抗压性能研究[J]. 包装工程, 2013, 34(13): 52—55.
LI Hong-gui, SU Ting, ZHANG Xin-chang. Compressive Properties of an Irregular Polygonal Corrugated Box[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(13): 52—55.
- [9] 刘鑫, 丁毅, 贾丽平. 开孔位置对瓦楞纸箱抗压强度影响的试验研究[J]. 包装与食品机械, 2013, 31(5): 19—21.
LIU Xin, DING Yi, JIA Li-ping. Experiment Research for the Effect of Punch Position on Compressive Strength of Corrugated Carton[J]. Packaging and Food Machinery, 2013, 31(5): 19—21.
- [10] 徐梦. 纸包装制品强度分析与试验研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2015.
XU Meng. The Analysis and Study of the Compression of Paper Packaging Products[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2015.
- [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] 王俊丽, 郑全成. 瓦楞纸箱的含水率对力学性能的影响[J]. 兰州交通大学学报, 2006, 25(3): 134—136.
WANG Jun-li, ZHENG Quan-cheng. Effect of Moisture Content of Corrugated Box on Mechanical Properties[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2006, 25(3): 134—136.
- [13] The European Federation of Corrugated Manufacturers. FEFCO ESBO Code[EB/OL]. (2017-10-01)[2017-10-22]. <http://www.fefco.org/technical-documents/fefco-esbo-code>.
- [14] 孙诚. 包装结构设计 (第 3 版) [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013.
SUN Cheng. Packaging Structure Design (3rd Edition)[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2013.
- [15] GB/T 6546, 瓦楞纸板边压强度的测定法[S].
GB/T 6546, Corrugated Fibreboard, Determination of Edgewise Crush Resistance[S].