

塑料围板箱抗压强度分析

梁秀, 王玉龙, 王柳
(武汉大学, 武汉 430079)

摘要: **目的** 研究塑料围板箱抗压强度的影响因素。**方法** 通过压力实验, 研究不同尺寸塑料围板箱在不同温度下的抗压性能及其变化规律。**结果** 得到了塑料围板箱在不同温度下、不同周边长的载荷-变形曲线及其抗压强度。**结论** 在一定范围内, 温度越高, 周边长越大, 塑料围板箱抗压强度越低; 高温下周边长对其抗压强度影响较小。

关键词: 塑料围板箱; 抗压强度; 温度; 周边长

中图分类号: TB484.3; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)13-0060-05

Compression Strength of Plastic Foldable Container

LIANG Xiu, WANG Yu-long, WANG Liu
(Wuhan University, Wuhan 430079, China)

ABSTRACT: This work aimed to study the factors affecting the compression strength of plastic foldable container. The compression strength and its changing rule of plastic foldable container with different sizes were studied by compression test. The load-deformation curves and the corresponding compression strength of plastic foldable container with different girth at different temperature were obtained. The compression strength of plastic foldable container decreased with the increase of temperature and girth within a certain range. The effect of girth on compression strength was relatively small at high temperature.

KEY WORDS: plastic foldable container; compression strength; temperature; girth

物流包装是以优化运输存储等物流环节作为主要目的的包装^[1]。采用可循环使用的大型包装容器, 将一定数量的产品或包装件组合在一起, 形成一个合适的包装单元, 不但便于装卸、存储和运输, 节省包装费用, 而且可以促进包装标准化实施。木质包装在使用性能、环保及进出口等方面具有许多限制^[2-4], 塑料围板箱应运而生。

抗压强度指在压力试验机均匀施加动态压力至箱体破损时的最大负荷及变形量, 或是达到某一变形量时的压力负荷值^[5]。目前对于箱体抗压强度

的研究主要集中于瓦楞纸箱、蜂窝纸箱、木质箱、塑料周转箱等^[6-11]。这里将对塑料围板箱进行压力试验, 研究温度及结构尺寸对其抗压强度的影响。

1 塑料围板箱

塑料围板箱是市场上较为新颖的物流容器, 广泛用于汽车、电子等行业。相对于传统物流包装容器, 围板箱具有以下优点: 可循环使用, 绿色环保; 箱体为闭合结构, 具有良好的防尘、防雨性能; 整

收稿日期: 2015-12-01

基金项目: 武汉大学开放实验项目 (201505)

作者简介: 梁秀 (1992—), 女, 江苏人, 武汉大学硕士生, 主攻运输包装和包装结构优化设计。

通讯作者: 王玉龙 (1965—), 男, 江苏人, 硕士, 武汉大学副教授, 主要研究方向为运输包装和包装结构优化设计。

个箱体无钉化构成，降低工人装卸危险；箱体折叠后可减少 3/4 的空间，降低运输成本等。围板采用蜂窝板结构，受压时相当于工字梁：表板主要承受正应力，中间蜂窝层主要承受剪应力。2 个表板的结构强度大，有较大的剖面惯性矩，因而结构刚度好、弯曲强度大。

2 实验

塑料围板箱由托盘、围板、顶盖 3 部分组成，箱体长边单侧设有开口，便于存取货物，围板箱结构见图 1。围板箱长为 1130 ~ 1450 mm，宽为 725 ~ 1130 mm，高为 745 ~ 1050 mm。围板采用蜂窝状高强度聚丙烯材质，板材厚度为 (10 ± 0.2) mm。蜂窝板由上塑质表层、下塑质表层及中间层构成，见图 2。中间层是一种塑质板材，该塑质板材表面上均布有圆形凸起和凹陷且相互交错布置。凸起顶面与上塑质表层固定连接，凹陷底面与下塑质表层固定连接，从而蜂窝板各侧向受力均匀且具有较好的承重性、缓冲性。围板为一整体，左右两侧带有压痕，使用时向两端撑开；用完后沿压痕向内折叠放入顶盖和托盘之间，见图 3。这里选择的样品是江苏某公司生产的塑料围板箱。

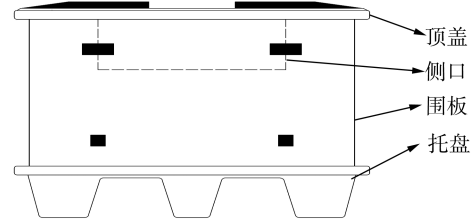


图 1 围板箱结构
Fig.1 Structure of plastic foldable container

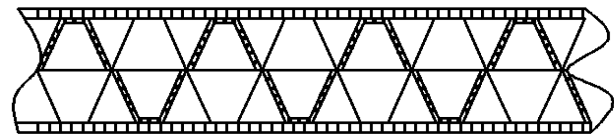


图 2 蜂窝围板断面
Fig.2 Sectional view of honeycomb coaming

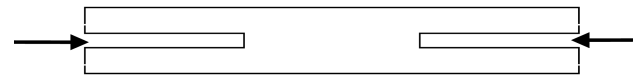


图 3 箱体折叠
Fig.3 Folding graph of coaming

2.1 实验材料

选用 4 种不同尺寸的塑料围板箱，围板厚度均为 10 mm，分别置于-30，20，50 ℃环境下进行预处理。试样主要参数见表 1。

表 1 试样规格参数
Tab.1 Specification parameters of plastic foldable container

试样编号	长度/mm	宽度/mm	高度/mm	厚度/mm	开口尺寸/mm	数量
1	1130	725	745	10	600×230	15
2	1210	1010	745	10	600×230	15
3	1210	1010	1050	10	600×350	15
4	1450	1130	745	10	600×230	15

实验采用型号为 ETR-5130H 步入式高低温交变湿热试验室（赛普斯天宇有限公司）。考虑塑料围板箱使用时外部环境温度为-35 ~ 55 ℃，故将 4 种尺寸试样（每种数量 15 个，分为 3 组），分别在-30，20，50 ℃环境下进行 24 h 预处理，试验数据取其平均值。

2.2 方法

塑料围板箱抗压试验按照 GB/T 4857.4—2008 《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》进行。这里采用东莞市宝大仪器有限公司生产的 PT-8216 抗压试验机。

试验在与预处理相同或尽可能相近的温湿度

条件下进行。压力试验机上压板以 12.7 mm/min 的速度匀速下压，当压力出现峰值后曲线不断向下，达到最大值的 80%时，停止下压。通过试验可得到塑料围板箱载荷-变形曲线。

2.3 实验现象

围板箱在受压过程中，随着载荷不断增加，围板箱侧板将失稳并出现横向挠曲，立面出现翘曲现象，见图 4。

不同尺寸的围板箱在加压过程中，当压力达到一定值时，围板箱沿箱面均发生不同程度的凹进或凸出，距中心越近，凹进或凸出程度越大，反之越小，因为空围板箱中间部分无任何支撑和约束。沿

箱面水平方向发生程度不同的变形,箱角处刚度最大,变形最小;距离箱角越远,变形越大。

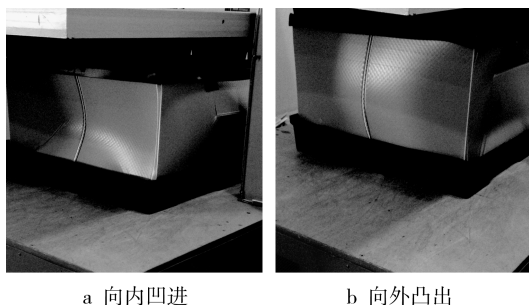


图4 箱体翘曲

Fig.4 The warpage of the plastic foldable container

围板箱受压直至压溃时并未同时产生于整体上,而是发生在最弱的侧板上。对于围板箱而言,在其箱体长边单侧设有开口,故其所在的侧板抗压强度较低,破坏易发生于此。

实验过程中,箱体破坏主要发生在顶盖角隅处,见图5。这是因为当整个箱体受到正压力时,将在顶盖与箱体的接触处通过顶盖均匀分布在4个侧面上。侧面受力时会发生弯曲,弯曲时受到相邻侧面的约束^[12]。由于作用力与反作用力,相邻的侧面将在箱角处受力,所以对于顶盖的破坏主要发生在与箱体接触的箱角处。

在抗压试验中,外部载荷作用更大程度地破坏了材料本身的形貌,因此箱体四周均出现不同程度的白色银纹或裂纹,见图6,这是围板箱在应力作用下发生过度形变的结果。裂纹在受力时常成为应力集中点,易迅速扩大开裂而导致材料的破坏,经过高温预处理的围板箱出现的银纹较多。温度升高时,热可增强分子的运动,从而可在较低的应力下产生物料的流动、破坏,视为“热应力”破坏。



图5 盖角破坏

Fig.5 Destruction of the cover corner

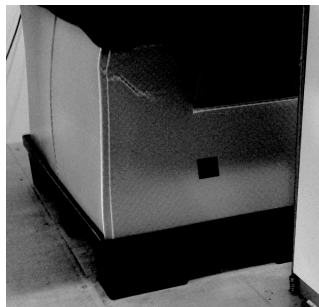


图6 银纹现象

Fig.6 Crazing phenomenon

3 结果与分析

3.1 不同温度下围板箱抗压强度

试样在3种温度下载荷-变形曲线见图7。

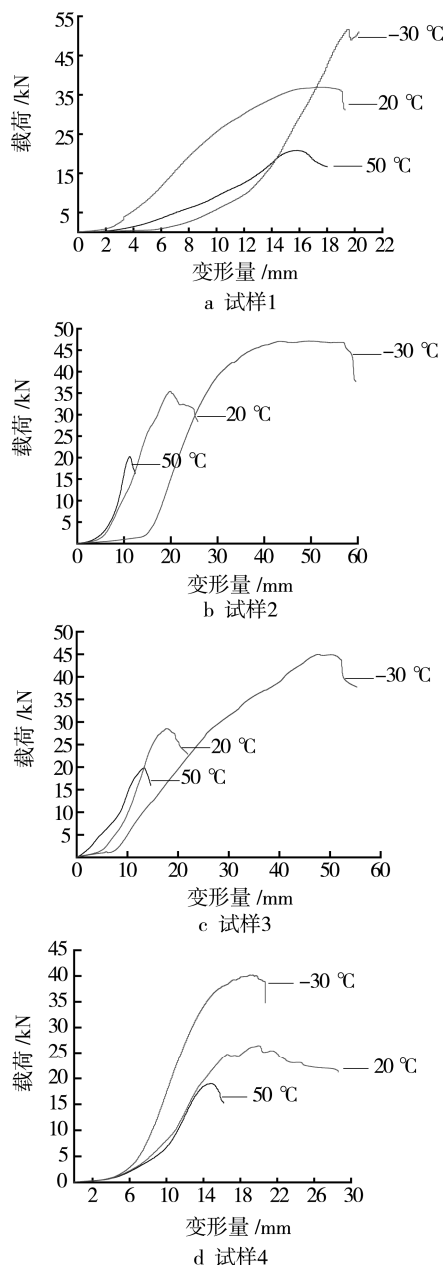


图7 塑料围板箱不同温度下的载荷-变形曲线

Fig.7 Load-deformation curves of plastic foldable container at different temperature

由图7中可以看出,不同温度下各尺寸塑料围板箱载荷-变形曲线趋势大致相同。随着载荷增大,围板箱变形也不断增大。开始阶段,变形为零而载荷增加,以确保围板箱与试验机压板接触;当载荷略有变化时,变形量变化很大;之后随着载荷增大,变形量增加缓慢,此时侧壁出现翘曲现象,箱体失

稳但仍可以承受更大压力;当载荷增加到峰值点即围板箱压溃点时,围板箱被破坏。当变形继续增加时,载荷开始下降。

不同尺寸的围板箱其温度越高,压溃时箱体的变形均越小。说明围板箱在温度较高时易被压溃,而温度较低时不易被压溃。

根据载荷-变形曲线,选取围板箱压溃前的临界载荷作为其所能承受的最大载荷,即为抗压强度。将 5 组实验结果取其平均值,得到不同温度下围板箱抗压强度,见图 8。

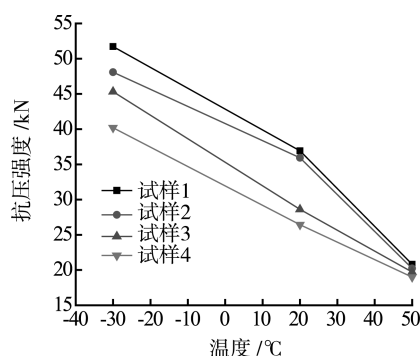


图 8 塑料围板箱不同温度下抗压强度

Fig.8 The compression strength of plastic foldable container at different temperature

由图 8 可以看出, -30 °C 时抗压强度最大值为 51 710 N, 最小值为 40 207 N; 20 °C 时抗压强度最大值为 36 922 N, 最小值为 26 428 N; 50 °C 时抗压强度最大值为 20 809 N, 最小值为 19 005 N。故在 -30 ~ 50 °C 范围内, 温度对于塑料围板箱抗压强度影响较大; 当温度达到 50 °C 时, 抗压强度值趋于稳定。不同尺寸结构的塑料围板箱其抗压强度都随温度升高而降低。温度越低, 抗压强度值越大, 即抗压性能好。这是因为聚合物随温度变化会表现不同力学状态, 是内部不同模式的分子运动(某种运动单元发生某种形式的热运动)的宏观表现^[13]。

聚合物有一个玻璃化转变温度 T_g , 当温度低于 T_g 时, 高聚物所有分子链之间的运动和链段的运动都被“冻结”, 整个高聚物表现为非晶相的固态。当试样置于 -30 °C 进行预处理时, 由于温度太低, 连分子的振动都被“冻结”, 加以外力, 高聚物就呈现脆性, 此时聚合物硬而脆, 具有较好的力学性能。随着温度的升高, 分子热运动能量逐渐增加, 当达到某一温度时, 链段可以通过主链中单键的内旋转产生转动、移动, 高分子链运动的幅度越来越大, 聚合物弹性模量降低^[14-15]。随着温度升高, 塑料围板箱的抗压强度降低。

3.2 不同周边长塑料围板箱的抗压强度

考虑塑料围板箱周边长对其抗压强度的影响, 选用高度相同的 1, 2 和 4 号试样, 分别对其进行 -30, 20, 50 °C 预处理后进行实验, 见图 9。

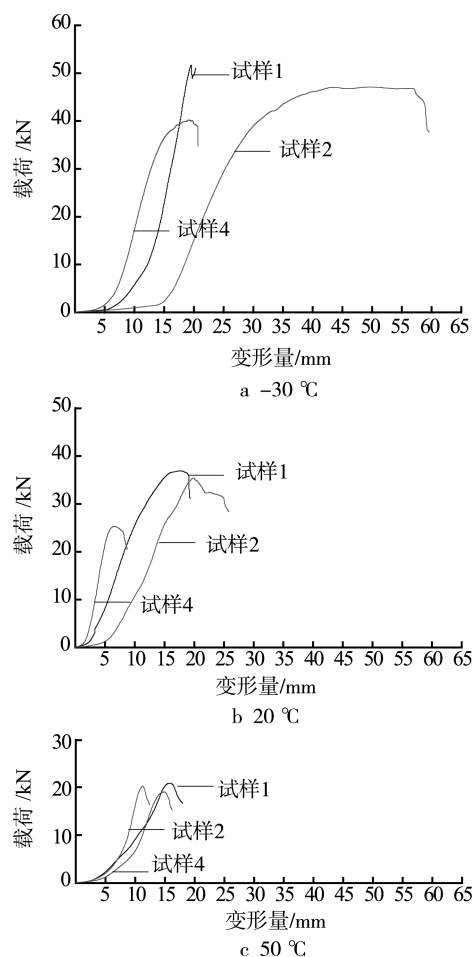


图 9 不同周边长塑料围板箱的载荷-变形曲线

Fig.9 Load-deformation curves of plastic foldable container with different girth

实验选取周边长分别为 3710, 4440, 5160 mm 的塑料围板箱进行实验。由图 9 可以看出, 不同温度下各尺寸围板箱曲线变化趋势大致相同, 随着围板箱周边长增大其抗压强度降低。温度为 -30 °C 与 20 °C 时, 随着周边长增大抗压强度降低明显, 最大差值分别为 11 503 和 10 484 N; 而当温度为 50 °C 时, 不同尺寸的围板箱抗压强度变化不是很明显, 故在不同使用环境下应合理选择不同尺寸的围板箱。

4 结语

抗压试验中, 塑料围板箱沿箱面发生不同程度的凹进或凸出, 距中心越近, 凹进或凸出程度越大;

破坏易发生在设有开口的立面上。不同尺寸塑料围板箱在不同温度下载荷-变形曲线变化趋势大致相同。在一定范围内,随着温度降低、周边长减小,围板箱抗压强度增大。高温下,周边长对塑料围板箱抗压强度影响较小。

由于实验材料的限制,这里在塑料围板箱结构尺寸中仅考虑周边长对其抗压强度的影响,以后还需对围板箱高度、长宽比、开口尺寸等因素进行进一步完善与研究。此外,未来工作可对其进行动态实验及利用有限元分析软件对其进行仿真分析。

参考文献:

- [1] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京:印刷工业出版社, 2012.
PENG Guo-xun. Logistics and Transport Packaging Design[M]. Beijing:Printing Industry Press, 2012.
- [2] 康柳, 刘婧, 张佳娟, 等. 基于 SolidWorks 的卡扣快装箱有限元分析[J]. 包装工程, 2015, 36(3):65—69.
KANG Liu, LIU Jing, ZHANG Jia-juan, et al. Finite Element Analysis of Quickly Assembled Box with Buckles via SolidWorks[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(3):65—69.
- [3] 潘道津. 国际贸易中木质包装的防疫要求[J]. 包装工程, 2002, 23(4):166—169.
PAN Dao-jin. Requirement of Epidemic Prevention to Wood Packaging in International Trade[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(4):166—169.
- [4] LEBOW S, ARANGO R, WOODWARD B, et al. Efficacy of Alternatives to Zinc Naphthenate for Dip Treatment of Wood Packaging Materials[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2015(1): 371—376.
- [5] 孙诚. 包装结构设计[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2009.
SUN Cheng. Packaging Structure Design. Beijing[M]. Beijing:China Light Industry Press, 2009.
- [6] FRANK B. Corrugated Box Compression: A Literature Survey[J]. Packaging Technology and Science, 2013, 27(2):105—128.
- [7] HAN J, PARK J M. Finite Element Analysis of Vent/Hand Hole Designs for Corrugated Fiberboard Boxes[J]. Packaging Technology and Science, 2007, 20(1): 39—47.
- [8] 何理, 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—70.
HE Li, DING Yi, JIA Li-ping. Study of Corrugated Box Compression Strength under Different Humidity[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17):68—70.
- [9] 王斐, 母军. 瓦楞纸箱抗压强度的研究进展[J]. 包装工程, 2014, 35(11):133—138.
WANG Fei, MU Jun. Research Progress on Compressive Strength of Corrugated Box[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(11):133—138.
- [10] 蔡丽娜, 王玉龙, 徐洁, 等. 框架木箱有限元受力分析[J]. 包装工程, 2010, 31(17):13—15.
CAI Li-na, WANG Yu-long, XU Jie, et al. Finite Element Analysis to Stress of Wooden Framed Box[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(17):13—15.
- [11] 武丽丽, 黄颖为. 塑料周转箱结构与力学性能研究[J]. 西安理工大学学报, 2011, 27(1):102—106.
WU Li-li, HUANG Ying-wei. Research on Structural Design and Mechanics of Plastic Container[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2011, 27(1): 102—106.
- [12] 罗玲. 瓦楞纸箱抗压强度研究[D]. 珠海:暨南大学, 2010.
LUO Ling. The Study of the Compression Strength of Corrugated Box[D]. Zhuhai:Jinan University, 2010.
- [13] SANDEEP T, ROBERTO A, LOPEZ A, et al. Time and Temperature Dependent Response of a Wood- Polypropylene Composite[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2011, 42(7):834—842.
- [14] HERNANDEZ R J, CULTER J D, SELKE S E M. Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications, and Regulations[M]. Cincinnati:Hanser Gardner Publications, 2005.
- [15] 骆光林. 包装材料学[M]. 北京:印刷工业出版社, 2011.
LUO Guang-lin. Packaging Materials[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2011.