

瓦楞纸箱抗压性能试验研究

张志昆

(兰州交通大学, 兰州 730070)

摘要: 简单阐述了瓦楞纸箱抗压强度计算的若干公式。依据国家标准对若干种规格的瓦楞纸箱进行了抗压试验;使用所列公式对其抗压强度进行了计算,并对二者的结果进行了比较和分析研究。结果表明,纸箱在其他规格相同的条件下,高度为 400 mm、长宽比为 1.6 左右、周边长为 1 600 mm 左右,这 3 个条件达到其中之一时,瓦楞纸箱的抗压强度较好;除 Kellicutt 公式外公式计算值与实测值相比过于保守,对实际生产参考意义有限。认为纸箱的设计生产有必要参考最优的尺寸数据进行。

关键词: 瓦楞纸箱; 抗压强度; 试验

中图分类号: TB484.1; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)15-0044-04

Experiment and Research on Compressive Property of Corrugated Carton

ZHANG Zhi-kun

(Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Several formulas for calculating compression strength of corrugated cartons were introduced. Compression tests of different cartons were carried out according to national standards; the compression strength was calculated and the results were compared. The results showed that as long as the cartons fulfill one of the three conditions, the height is 400 mm, the length-width ratio is around 1.6, and the overall dimension is around 1600 mm, the cartons have the better compressive property; the calculated results have little practical meaning except Kellicutt's. It's considered to be necessary to take the optimal size as one of the factors for design and production.

Key words: corrugated carton; compressive strength; test

甘肃静宁、天水等地水果品质好、产量高,多销往其他省市并有部分出口。其一般使用瓦楞纸箱进行包装,因而纸箱的使用量巨大,而水果产品在运输过程中怕压怕挤,故瓦楞纸箱的抗压性能显得尤为重要。纸箱装载水果后销往外地时运距长,气候跨度大,在实际使用中易出现纸箱抗压性能不良而引起的水果挤压现象,造成经营者的经济损失,因而对纸箱的抗压性能进行试验研究是必要的。

影响瓦楞纸箱抗压强度的因素很多,有瓦楞纸板质量、含水率、纸箱高度、长宽比、周边长、印刷工艺、手孔大小、形状及开孔位置等^[1]。李春伟等人^[2]研究认为手孔位置在箱宽度中线上方 $H/6$ 以内时,对纸箱的抗压强度影响最小。王俊丽等人^[3]试验证明随着纸箱含水率的升高,纸箱的抗压强度逐渐下降。刘慧等人^[4]研究发现结构和几何尺寸对纸盒的抗压强

度都有一定影响。李玉盛等人^[5]研究发现瓦楞纸箱的抗压强度试验数据基本符合正态分布。张书斌等人^[6]对瓦楞纸箱的抗压强度和瓦楞原纸的综合环压强度值进行了分析研究,认为二者具有显著的线性相关关系。

在纸箱设计生产过程中,瓦楞纸箱的尺寸对抗压强度的影响也是不可忽视的,本文针对不同尺寸的纸箱进行了抗压试验,并使用 Wolf 公式、Kellicutt 公式及 Makee 公式分别对抗压强度进行了计算,同时对试验值和计算值进行了比较。

1 抗压强度计算^[7]

1.1 Wolf 公式

该公式加入 $0.322\ 8R_L - 0.121\ 7R_L^2 + 1$ 这一系

收稿日期: 2012-06-08

作者简介: 张志昆(1971—),男,兰州人,硕士,兰州交通大学高级工程师,主要研究方向为运输包装安全。

数来衡量长宽比对抗压强度的影响:

$$P_w = \frac{1.177 \ 2P_c \sqrt{tZ}(0.322 \ 8R_L - 0.121 \ 7R_L^2 + 1)}{100H_0^{0.041}}$$

其中: P_w 为 Wolf 公式计算得的抗压强度(N); P_c 为瓦楞纸板边压强度(N/m); t 为瓦楞纸板厚度(mm); Z 为纸箱周边长(cm); R_L 为纸箱长宽比; H_0 为纸箱外高度(cm)。

1.2 Makee 公式

该公式主要利用瓦楞纸板的边压强度来计算纸箱的抗压强度:

$$P_m = 5.874P_c(Zt)^{0.5}$$

其中: P_m 为使用 Makee 公式计算得出的抗压强度(N); P_c 为瓦楞纸板边压强度(N/m); t 为瓦楞纸板厚度(m); Z 为纸箱周边长(m)。

1.3 Kellicutt 公式

该式被认为是计算结果相对误差最小的公式:

$$P_k = P_x(4aX_Z)^{\frac{2}{3}}Z^{\frac{1}{3}}J$$

式中: P_k 为使用 Kellicutt 公式计算得出的抗压强度值(N); P_x 为纸板综合环压强度(N/cm); aX_Z 为瓦楞常数; J 为纸箱常数; Z 为纸箱周长(cm)。 P_x 的算式为:

$$P_x = \frac{\sum R_n + \sum C_n R_{mn}}{15.2}$$

其中: R_n 为面纸的环压强度(N/(0.152m)); C_n 为瓦楞收缩率; R_{mn} 为芯纸的环压强度(N/(0.152m))。

2 试验

2.1 抗压试验中纸箱受力情况

瓦楞纸箱在受压时支撑力来自于箱面和箱竖楞,竖楞提供主要的支撑力。此次试验中某样品压溃时的状态见图 1。此时一根或几根竖楞溃缩,箱面鼓出或凹陷。

典型的瓦楞纸箱抗压强度变化曲线见图 2。可以认为此过程可以大致分为 4 个阶段:第 1 个阶段为压缩量在增长到 12 mm 左右的过程中,上下摇盖与箱面连接部分,即压痕线部分被逐渐压缩的过程,此时抗压强度增长缓慢;第 2 个阶段从 12~14 mm 阶段,此时竖楞被压缩,不同于阶段一,由于为纵向方向受力,所以压缩量有限,但曲线斜率较大;第 3 阶段压缩量从 14 mm 增加至 26 mm 左右,此时竖楞和箱面



图 1 抗压试验图片

Fig. 1 Picture of compression test

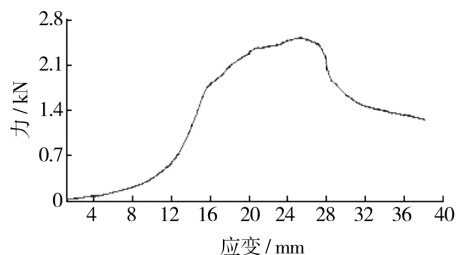


图 2 力-位移曲线

Fig. 2 Force-displacement curve

被压缩到极致,此时抗压强度持续增大;第 4 阶段竖楞和箱面开始溃缩,抗压强度开始下降。

一般瓦楞纸箱均遵循这一规律,各阶段纸箱的压缩量会因为生产工艺、材料、箱型、楞型等不同而有差异。

2.2 试验方案

使用 PL-4KP 恒温恒湿箱在温度 $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $(50 \pm 2)\%$ 条件下,对瓦楞纸箱及边压强度、环压强度试样进行预处理 24 h。然后采用 AG-50KNI 压力试验机及 ZSD-3 电子式压缩试验仪进行抗压试验^[8-9]。

共进行 3 组试验。试验 1:测试高度对纸箱抗压强度的影响,并使用 Wolf 公式对抗压强度进行计算;试验 2:测试长宽比对抗压强度的影响,并使用 Wolf 公式对抗压强度进行计算;试验 3:测试周边长对抗压强度的影响,同时使用 Kellicutt 公式及 Makee 公式进行相应计算。

2.3 试验样品

选择某公司生产的 3 mm 厚 B 楞 3 层瓦楞纸板订制钉合的不同尺寸的纸箱。

试验 1:周边长为 1 600 mm,长宽比为 1.5,样品高度 300~500 mm,每种样品高度增加 25 mm,共 9

种尺寸。

试验 2: 周边长 1 600 mm, 高度 400 mm, 样品长宽比 1~2.8, 每种样品比例增加 0.2。另添加 1.5 比例样品 3 个, 以更好地确定抗压强度出现较大值时的比例, 共 12 种尺寸。

试验 3: 高度 400 mm, 长宽比 1.5, 样品周边长 1 200~2 000 mm, 每增加 100 mm 设置一种样品。

所有样品均为 3 个, 最终试验值为 3 个纸箱抗压强度的平均值。

3 试验和计算结果及讨论

3.1 环压强度及边压强度试验

由于使用算式计算抗压强度时需要使用纸板边压及面纸芯纸环压强度值, 因而进行了相应试验。边压强度各样品试验值见表 1, 环压强度值见表 2。

表 1 瓦楞纸板边压强度

Tab.1 Data of edgewise compression strength of corrugated board

编号	1	2	3	4	5	6
试验值/N	3 766	3 941	4 185	3 876	3 990	3 944
编号	7	8	9	10	11	12
试验值/N	3 904	3 855	4 088	4 227	4 090	3 916

表 2 芯纸和面纸环压强度

Tab.2 RCT data of core paper and face paper N/m

编号	1	2	3	4	5	6
芯纸	743	768	725	794	788	738
面纸	944	928	924	987	962	948
编号	7	8	9	10	11	12
芯纸	716	739	750	746	722	740
面纸	946	1 004	961	950	978	981

据此计算得样品纸板边压强度平均值为 3 975 N/m, 面纸环压强度平均值 959 N/m, 芯纸环压强度平均值 747 N/m。

3.2 试验 1 试验数据及 Wolf 公式计算结果

试验和计算数据见图 3。

试验结果表明, 瓦楞纸箱的高度在 400 mm 时, 其抗压强度最大, 其他高度样品抗压强度相差不大。Wolf 公式计算结果与试验值相差较大, 所计算得的数据过于保守。 P_w 随高度的升高而下降, 但高度对计算结果影响较小, 几乎不能体现高度对纸箱抗压强

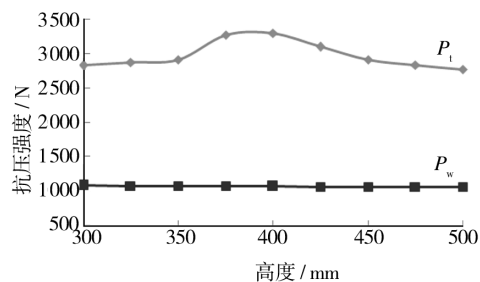


图 3 抗压强度测试及计算结果

Fig. 3 Test and calculation results of compressive strength

度的影响。

3.3 试验 2 试验数据及 Wolf 公式计算结果

试验和计算数据见图 4。

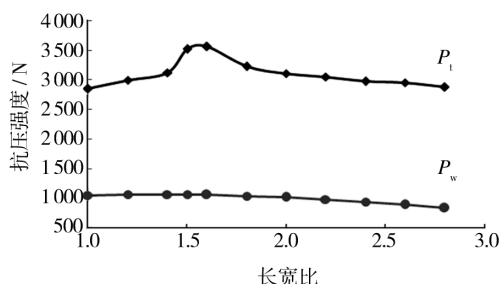


图 4 抗压强度测试及计算结果

Fig. 4 Test and calculation results of compressive strength

试验数据表明, 样品长宽比在 1.6 以前抗压强度逐渐升高, 在 1.6 时抗压强度达到较大值, 继续升高比例抗压强度开始下降。而经过 Wolf 公式计算的抗压强度值会随着长宽比的增大而逐渐下降, 没有出现较大值现象。同样, 计算数据相对测试数据保守。

3.4 试验 3 数据及 Kellicutt, Makee 公式计算结果

Kellicutt 公式计算过程中 aX_z 取值 5.00, J 取值 1.26, C_n 取值 1.361^[7]。试验数据及计算数据见图 5。

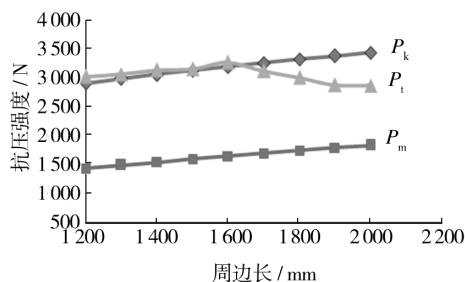


图 5 抗压强度测试及计算结果

Fig. 5 Test and calculation results of compressive strength

试验数据表明,在周边长增长到 1 600 mm 过程中,纸箱的抗压强度值随之增长,但当周边长超过该值以后,抗压强度逐渐下降。Kellicut 公式和 Makee 公式计算结果均表明随着纸箱周边长的增大,抗压强度逐渐增大,但 Kellicut 公式的计算结果相对 Makee 公式而言更加接近试验数据。由此可以认为 Kellicut 公式在生产过程中相对更具有指导意义。

4 结语

瓦楞纸箱除其他因素之外,抗压强度与其尺寸具有一定相关性,试验证明在其他因素相同时,高度 400 mm,长宽比 1.6,周边长在 1600 mm 左右,这 3 个条件达到其中一个时,纸箱的抗压强度相对较高。

公式计算的抗压强度中,Kellicutt 公式计算值与实际测试值最为接近,Wolf 和 Makee 公式计算值过于保守,实际使用中参考价值有限。

仅仅从实际使用中尺寸对纸箱抗压强度的影响角度进行了试验,但瓦楞纸箱的设计生产不能完全按照最优尺寸进行。在实际中,瓦楞纸箱的设计生产需要将实际的包装需求和瓦楞纸箱最优尺寸比例相结合,最佳的尺寸只是为了给生产设计提供参考。生产者在条件允许的情况下,设计出最符合实际、节省资源的纸箱,需要根据内装物的性质、重量、规格和尺寸等条件综合考虑。

参考文献:

- [1] 陈瑞. 影响纸箱抗压强度的因素分析及解决方案[J]. 包装世界,2005(10):37—41.
CHENG Rui. Analysis on Effective Facts of Corrugated Boxes'Compressive Property and Solutions[J]. Packaging World, 2005(10):37—41.
- [2] 李春伟,王桂英,陈春晟. 手孔对瓦楞纸箱抗压强度的影响[J]. 东北林业大学学报,2008,36(6):34—36.
LI Chun-wei, WANG Gui-ying, CHEN Chun-sheng. Effects of Handing Hole on Compressive Strength of Corrugated Box[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2008,36(6):34—36
- [3] 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.
- [4] 刘慧. 折叠纸盒结构及其尺寸对抗压强度的影响[J]. 包装工程,2008,29(5):29—31.
LIU Hui, ZHANG Xin-chang. Effect of Structure and Dimension on Compression Strength of Folding Cartons [J]. Packaging Engineering, 2008,29(5):29—31.
- [5] 李玉盛,张书彬. 瓦楞纸箱抗压强度的统计分析[J]. 包装工程,2005,26(3):17—19.
LI Yu-sheng, ZHANG Shu-bin. Statistics and Analysis on the Compression Strength of Corrugated Box [J]. Packaging Engineering, 2005,26(3):17—19.
- [6] 张书彬,冯学正. 瓦楞纸箱抗压强度的试验研究[J]. 包装工程,2008,29(9):10—11.
ZHANG Shu-bin, FENG Xue-zheng. Experiment Research of Corrugated Box's Compression Strength[J]. Packaging Engineering, 2008,29(9):10—11.
- [7] 孙诚. 纸包装结构设计[M]. 北京:中国轻工业出版社,2003.
SUN Cheng. Structural Design of Paper Packing [M]. Beijing:China Light Industry Press, 2003.
- [8] GB/T 4857. 4—2008, 包装 运输包装条件基本试验 第 2 部分:温湿度调节处理[S].
GB/T 4857. 4—2008, Packaging—Basic Tests for Transport Packages — Part 2: Temperature and Humidity Conditioning[S].
- [9] 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].
GBT 4857. 4—2008, Packaging—Basic Tests for Transport Packages—Part 4: Compression and Stacking Tests Using a Compression Tester[S].

(上接第 43 页)

- GAO De, LU Fu-de. Optimization design of MDOF Package Cushioning System Made of Polyethylene[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012,31(3):69—72.
- [7] 刘学. 发泡聚乙烯包装系统动力学有限元分析[J]. 包装工程,2011,32(13):11—13.
LIU Xue. Finite Element Analysis of Dynamic Properties of Expanded Polyethylene Cushion Packaging System [J]. Packaging Engineering, 2011,32(13):11—13.
- [8] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京:印刷工业出版社,2006.
PENG Guo-xun. The Packaging Design of Logistics Transport[M]. Beijing:Printing Industry Press, 2006.