

高强度冷冻防潮瓦楞纸箱研制

徐雪萌, 任宁, 唐静静

(河南工业大学, 郑州 450007)

摘要: **目的** 利用新型经纬线纸研制高强度冷冻防潮瓦楞纸箱, 以适应冷链食品低温贮藏、运输的物流环境。 **方法** 实验测试经纬线纸包装特性, 确定其适合瓦楞纸板的组分; 应用 Ansys 分析软件, 建立经纬线瓦楞纸箱和普通瓦楞纸箱的有限元模型, 模拟实际流通环境对纸箱模型施加载荷, 求出2种瓦楞纸箱的抗压强度; 进行空箱抗压实验, 比较2种方法下经纬线纸箱与普通纸箱的抗压强度大小。 **结果** 用预应力经纬线纸作为瓦楞纸箱的面纸, 在低温流通环境中其空箱抗压强度比相同芯纸和里纸的普通瓦楞纸箱高约30%, 并且经纬线纸纸箱的质量比普通瓦楞纸箱的质量低12%。 **结论** 在实际生产中, 可以利用经纬线纸制造高强度的低温防潮箱, 以适应冷链流通环境, 也可以制作低克重高强度纸箱, 以节约纸箱用纸量。

关键词: 瓦楞纸箱; 经纬线纸; 抗压强度; 有限元分析

中图分类号: TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)13-0032-03

High-strength and Moisture-proof Corrugated Box for Refrigeration

XU Xue-meng, REN Ning, TANG Jing-jing

(Henan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

ABSTRACT: This experiment developed a novel high-strength and moisture-proof corrugated box for refrigeration to adapt to the logistics environment of low-temperature storage and transportation of cold-chain food. By testing the packaging features of the warp and weft paper, the composition of corrugated box was determined. The finite element models of the warp and weft corrugated box and the ordinary corrugated box were established by use of Ansys software to simulate the actual environmental load imposed on the models and calculate the compression strength. The compression strength test on empty box was also conducted to compare the compression strength of the two kinds of corrugated boxes. The results showed that in the logistics environment of low temperature, the compression strength of the box made by warp and weft paper was 30% higher than ordinary corrugated boxed and the weight of the warp and weft box was 12% lower. In practical production, the warp and weft paper can be used to make high-strength and moisture-proof corrugated box which is suitable for the cold-chain logistics environment. This kind of paper also can be used to make boxes of lower weight and higher strength, which can save paper usage.

KEY WORDS: corrugated box; warp and weft paper; compression strength; finite element analysis

瓦楞纸箱是常用的运输包装容器之一, 必须有足够高的强度来保护内装产品。产品在流通过程中经历各种流通环境, 温、湿度的变化是影响纸箱强度的重要因素^[1-3]。冷库堆垛的纸箱, 因处于低温环境, 其强度会下降而引起塌库现象。随着物流的发展和食品冷链流通领域的扩展, 瓦楞纸箱作为主要的运输包

装容器也被广泛应用于冷链流通中, 高强度防潮纸箱成为制约冷链流通的重要因素之一, 因此, 研制高强度的防潮冷冻纸箱具有重要的现实意义。

瓦楞纸箱的力学性能与瓦楞纸板的组分及纸箱的结构有很大关系。由于受成本的制约, 国内瓦楞纸板材料(包括面纸和芯纸)制造多以草类纤维为原

收稿日期: 2014-12-05

作者简介: 徐雪萌(1972—), 女, 河南南阳人, 硕士, 河南工业大学副教授, 主要研究方向为包装工程。

料,缺少木浆和附加值纸,因此,我国大多数为高克重、低强度纸箱,在环境条件改变时,纸箱极易吸水而使强度降低。提高瓦楞纸板材料的力学性能是制作高强度防潮冷冻箱的方法之一。预应力经纬线纸是一种新型纸基复合材料,具有较高强度,是造纸时把纸浆抄制在处于拉伸状态的经纬线上,依靠纸浆纤维氢键结合力把经纬线固定在纸中,撤销应力后,经纬线收缩对纸纤维产生压应力,并将其能量储存在纸中。纸张承受外载荷前,经纬线受到预先拉应力,材料的强度由预先储存能量和经纬线材质决定,通过改变经纬线的材质、规格和密度可以改变材料的强度。这里,在对瓦楞纸箱低温环境下强度下降原因进行分析的基础上^[4],提出了高强度瓦楞纸箱的研制方法^[5]。

1 试验

1.1 原材料

试验原材料:定量为110 g/m²的瓦楞原纸和定量为150 g/m²的挂面纸,郑州秉信纸业有限公司提供;定量为110 g/m²经纬线纸,线的材质为聚酯纤维,线的伸长率为7%,线排布间距为3 mm,河南金桂特纸科技有限公司提供。

1.2 试样制备

试验箱类型1的配纸:定量为110 g/m²的经纬线纸做面纸,定量为110 g/m²的瓦楞原纸做芯纸,定量为110 g/m²的箱板纸做里纸。

试验箱类型2的配纸:定量为150 g/m²的挂面值做面纸,定量为110 g/m²的瓦楞原纸做芯纸,定量为110 g/m²的箱板纸做里纸。

2种纸箱的芯纸、里纸是相同的材料,用相同的黏合剂粘合。箱型均为0201,瓦楞形状为B型,纸板厚度为3 mm,内尺寸为210 mm×220 mm×340 mm。不考虑纸箱含水量、黏合剂及其他外界环境对纸箱质量的影响,2种类型纸箱片的质量分别为123.1 g和138.5 g。

1.3 实验方法

1.3.1 瓦楞纸板原材料包装特性测试

测试原材料中3种纸的力学特性,研究经纬线纸适合瓦楞纸板的组分。环压强度测试依据GB/T 2679.8—1995《纸板环压强度测定法》,沿纸幅的纵、横

向用专用冲裁刀取宽(12.7±0.1)mm、长(152±0.2)mm的试样各10片,试样2边的不平行度小于0.015 mm。将装好试样的环压中心盘置于CY-1多功能瓦楞纸综合强度测试仪下压板的中心位置,测试时下压板以12 mm/min的速度匀速上升,对试样施加压力至试样压溃。

耐折度实验按照GB/T 2679.5—1995《纸和纸板耐折度测定—MIT耐折度仪法》,切取宽为(15±0.1)mm、长度不小于140 mm的试样进行实验,试验时将试样置于DRK111A耐折度仪的夹头中,通过下夹头的左右摇摆,使试样在135°内往复折叠运动至试样断裂。

耐破度按照GB/T 1539—2007测定,试样按照GB/T450进行裁取,试验用DCP-NPY 1200电脑测控耐破度测试仪,通过橡胶膜均匀将压力施加到纸上,直至破裂,测其所受的压力最大值。

戳穿强度依据GB/T 2679.5—2005《纸板戳穿强度的测定》进行测试,试样夹持在GB-CC纸板戳穿强度仪上,用一定形状的角锥穿过纸板所消耗的动力功表示。

1.3.2 瓦楞纸板弯曲性能测试

将2种类型的瓦楞纸板放入温度为-18℃的冷库,低温贮藏30 d,取出后依据GB/T9341—2008《塑料弯曲性能测定》测试纸板的弯曲模量和强度。弯曲弹性模量的计算依据^[11]为 $E = \frac{L^3}{4bh^3} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta Y}$ 。式中: E 为弯曲弹性模量; L 为跨距; b 为试样宽度; h 为试样厚度; ΔP 为载荷挠度曲线直线段载荷增量; ΔY 为载荷挠度曲线段变形量。

瓦楞纸板在 z 方向的弹性模量可根据经验公式

$$E_z = \frac{E_y}{200}, \text{由} y \text{方向的弹性模量计算得出。剪切模量}$$

计算依据文献[12—15]计算, $G_{xy}=0.387 \sqrt{E_x E_y}$,

$$G_{xz} = \frac{E_x}{55}, G_{yz} = \frac{E_y}{55}。瓦楞纸板的泊松比\mu_{xy}, \mu_{xz}, \mu_{yz} 分别取0.34, 0.01, 0.01。$$

1.3.3 空箱抗压实验测试

把经过低温贮藏后的2种类型瓦楞纸箱取出,贮藏条件仍为温度-18℃,时间为30 d。将2种类型的试验箱放在GBN2000Z纸箱抗压试验机的两压板之间,设定测试仪的测试速度后进行测试。瓦楞纸箱放在两压板之间,压板以设定的恒速向纸箱施加压力。纸箱受压变形直至压溃。每种类型纸箱测试8个,记录每个试验箱的抗压强度,并求出2种类型样箱的抗压强度平均值。

2 试验结果与分析

2.1 包装性能试验结果分析

3 种瓦楞纸板原材料性能测试值见表 1。

表 1 3 种试样纸包装性能测试值
Tab.1 The performance test results of three types of packaging paper

试样纸	环压 强度/N	耐折 度/次	耐破指数/ (kPa·m ² ·g ⁻¹)	戳穿 强度/J
110 g 瓦楞原纸	20	80	3.2	1.0
150 g 挂面纸	24	90	4.8	1.5
110 g 预应力经纬线纸	44	> 500	476	5.5

从表 1 可知,经纬线纸的耐折度和耐破度性能优异,环压强度也高于其他 2 种纸。从材料组成看,经纬线纸属于复合材料,纸为基体材料,经纬线为增强材料,经纬线提高了材料的强度和刚度,因此,经纬线纸的力学性能比其他 2 种纸的力学性能优异。

内装产品的特性不同,对纸箱强度要求也有所不同,有的产品要求纸箱具有较好的抗压强度,有的产品要求纸箱具有较好的耐破强度,有的产品同时要求纸箱具有较好的抗压强度和耐破强度。冷链物流用瓦楞纸箱由于环境因素的影响,要求纸箱应同时具有较好的抗压和耐破强度。在纸箱制作时应将经纬线纸作为瓦楞纸箱的面纸,以提高纸箱的抗压强度和耐破度。

2.2 瓦楞纸箱抗压有限元分析

2 种瓦楞纸板力学参数测试结果见表 2。

表 2 2 种瓦楞纸板的参数
Tab.2 Parameters of the two kinds of corrugated paperboard

试验箱类型	弹性模量/MPa			剪切模量/MPa			泊松比		
	E_x	E_y	E_z	G_{xy}	G_{xz}	G_{yz}	μ_{xy}	μ_{xz}	μ_{yz}
1	1575	684	3.1	401.7	28.6	12.4	0.34	0.01	0.01
2	1020	571	2	295.3	18.5	10.3	0.34	0.01	0.01

对表 2 中 2 种样箱的数据进行有限元分析,为方便建模和计算,忽略纸箱上盖和下盖的影响,模型选用 shell63 单元,单元的厚度为 3 mm,模型单元数为 10 000 个,节点为 30 400 个。对模型顶部节点施加方向向下 0.1 N 的载荷,顶部受载节点为 400 个,则总的

预加载荷为 40 N,模型底部节点置 0。利用特征值屈曲分析方法对模型求解,得到屈曲特征值为 18.346 和 13.862。2 种试验箱的屈曲模态见图 1。根据屈曲特征值和预加载荷,计算出 2 种瓦楞纸箱的临界屈曲载荷为 733.8 N 和 554.5 N。

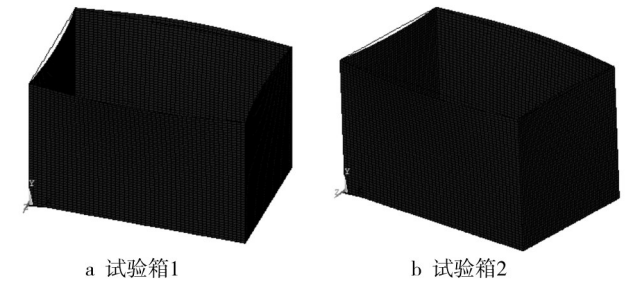


图 1 试验箱的屈曲模态
Fig.1 Buckling mode of corrugated boxes

2.3 空箱抗压实验结果分析

试验箱 1(空箱)1~8 次试验的抗压值分别为 711.0,715.5,698.4,689.2,702.5,700.3,701.5,696.6 N;试验箱 2(空箱)1~8 次试验的抗压值分别为 515.2,520.3,498.2,495.3,500.3,518.4,520.3,534.4 N。

经低温模拟贮藏后,2 种样箱空箱抗压平均值分别为 701.3,512.8 N,经纬线纸箱的空箱抗压值仍大于普通瓦楞纸箱,利用 Ansys 分析软件得到的数值与实验结果基本一致。

3 结语

1) 经纬线纸的耐折、耐破及抗戳穿性能比同克重的瓦楞原纸及克重较大的箱板纸的包装特性优异,在制作瓦楞纸箱时可以用作面纸,以适应低温流通环境的需要。

2) 应用有限元理论分析和空箱抗压实验可知,用预应力经纬线纸作为面纸的瓦楞纸箱,在低温流通环境中,其空箱抗压强度比相同芯纸和里纸的普通瓦楞纸箱高约 30%,并且经纬线纸纸箱的质量比普通瓦楞纸箱的质量低 12%。

参考文献:

[1] 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(6):134—136.
WANG Jun-li,ZHENG Quan-cheng. Effect of Moisture Content of Corrugated Box on Mechanical Properties[J]. Journal of
(下转第 46 页)

- 150.
- [13] CHILLO S, FLORES S, MASTROMATTEO M, et al. Influence of Glycerol and Chitosan on Tapioca Starch-based Edible Film Properties[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 88(2): 159—168.
- [14] MEI Y, ZHAO Y Y. Barrier and Mechanical Properties of Milk Protein-based Edible Films Containing Nutraceuticals [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(7): 1014—1018.
- [15] LIU H H, ADHIKARI R, GUO Q P, et al. Preparation and Characterization of Glycerol Plasticized (High-amylose) Starch-chitosan Films[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(2): 588—597.
- [16] 湛小立, 赵国华. 增塑剂对甘薯淀粉膜机械及渗透性能的影响[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 255—258.
- SHEN Xiao-li, ZHAO Guo-hua. Effect of Plasticizers on Mechanical Properties and Permeabilities of Sweet Potato Starch Films[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(6): 255—258.
- [17] MALI S, SAKANAKA L S, YAMASHITA F, et al. Water Sorption and Mechanical Properties of Cassava Starch Films and Their Relation to Plasticizing Effect[J]. Carbohydrate Polymer, 2005, 60(3): 283—289.
- [18] 张利娜. 天然高分子科学与材料[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- ZHANG Li-na. Science and Materials in Natural Polymers[M]. Beijing: Science Press, 2007.

(上接第34页)

- Lanzhou Jiaotong University, 2006(6): 134—136.
- [2] 张耀荔, 陈静. 低温酸奶用瓦楞纸箱在物流过程中的危害因素分析[J]. 物流技术, 2009, 28(10): 140—142.
- ZHANG Yao-li, CHEN Jing. Analysis on the Harmful Factors of the Low-temperature Yoghurt-used Corrugated Carton in the Process of Logistics[J]. Logistics Technology, 2009, 28(10): 140—142.
- [3] 郭娟, 张进, 李然. 环境湿度对瓦楞纸箱寿命的影响[J]. 包装工程, 2007, 28(12): 101—103.
- GUO Juan, ZHANG Jin, LI Ran. Influence of Environmental Humidity on Life-span of Corrugated Case[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(12): 101—103.
- [4] 徐雪萌, 徐芸. 冷冻食品包装用瓦楞纸箱强度研究初探[J]. 包装工程, 2011, 32(21): 34—36.
- XU Xue-meng, XU Yun. The Research of the Corrugate Box Strength in Using the Frozen Foods[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(21): 34—36.
- [5] 唐静静, 徐雪萌. 冷冻食品包装用瓦楞纸箱结构设计研究[J]. 包装工程, 2011, 32(9): 37—39.
- TANG Jing-jing, XU Xue-meng. Research on The Blanks Design of Corrugated Boxes Which Were Applied to Frozen Foods[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(9): 37—39.
- [6] 计宏伟. 包装工程实验教程[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2012.
- JI Hong-wei. Packaging Engineering Experiment Course[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012.
- [7] 何自芬, 张印辉. 基于有限元的包装箱抗压性能研究[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 39—41.
- HE Zi-fen, ZHANG Yin-hui. Study of Compression Resistance of Packaging Box Based on Finite Element Method[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 39—41.
- [8] 滑广军, 向红, 冯伟. 瓦楞纸箱有限元建模及屈曲分析[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 34—35.
- HUA Guang-jun, XIANG Hong, FENG Wei. Finite Element Modeling and Bulking Analysis of Corrugate Box[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 34—35.
- [9] 任重. Ansys 实用分析教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003.
- REN Zhong. Ansys Practical Analysis Course[M]. Beijing: Peking University Press, 2003.
- [10] 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(1): 1—4.
- WANG Zhi-wei, FANG Yan-ping. Effect of Humidity on Compression Strength of Corrugated Box[J]. Packaging Journal, 2012(1): 1—4.
- [11] 聂洪波. 三点弯曲法测试硬质合金弹性模量[J]. 粉末冶金材料与工程, 2010(12): 606—609.
- NIE Hong-bo. Determination of Elastic Modulus of Cemented Carbides by Three Point Bend Tests[J]. Materials Science and Engineering of Powder Metallurgy, 2010(12): 606—609.
- [12] NORDSTRAND T M. Parametric Study of the Post-buckling Strength of Structural Core Sandwich Panels[J]. Composite Structures, 2000(30): 441—451.
- [13] PERSSON K. Material Model for Paper: Experiment and Theoretical Aspects[D]. Lund: Lund University, 1981.
- [14] MANN R W, BAUM G A, HABEGER C C. Determination of all Nine Orthotropic Elastic Constants for Machine-made Paper [J]. Tappi, 1979(63): 163—166.
- [15] BANM G A, BRENNAN D C, HABEGER C C. Measurement of Orthotropic Elastic Constants of Paper[J]. Tappi, 1981(64): 97—101.