

瓦楞纸板边压强度影响因素分析

肖心明

(吉林工程职业学院, 四平 136001)

摘要: **目的** 分析瓦楞纸板边压强度与其基本物理参数之间的关系。**方法** 通过试验测量不同弹性模量、泊松比的原纸所对应不同结构参数的瓦楞纸板的边压强度。**结果** 当材料一定时, 原纸的定量越大, 厚度越厚; 原纸的纵向弹性模量总是大于横向弹性模量; 相同类型的原纸随着定量的增大, 其纵横向弹性模量和剪切模量逐渐增大; 面纸定量相同、芯纸定量不同的瓦楞纸板, 其边压强度随芯纸定量增大而增大; 芯纸定量相同、面纸定量不同的瓦楞纸板, 其边压强度随面纸定量增大而增大; 材质相同、楞形不同的瓦楞纸板, 其边压强度由大到小依次为 A 型、C 型、B 型。**结论** 瓦楞原纸物性参数、瓦楞纸板结构参数均对瓦楞纸板边压强度有决定性的影响。

关键词: 瓦楞纸板; 边压强度; 原纸物性; 纸板结构参数

中图分类号: TB484.1; TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)13-0108-05

Influence Factors of Edgewise Compression Strength of Corrugated Board

XIAO Xin-ming

(Jilin Engineering Vocational College, Siping 136001, China)

ABSTRACT: The work aims to analyze the relationship between the edgewise compression strength of corrugated board and its basic physical parameters. The edgewise compression strength of corrugated board with different structural parameters corresponding to the medium with different elasticity moduli and Poisson's ratios was measured by tests. When a certain amount of materials were provided, the larger the quantity of the medium was, the thicker the paper was. The longitudinal modulus of elasticity was always larger than the transverse modulus of elasticity; with the increase in the quantity of the medium of the same type, its longitudinal and transverse moduli of elasticity and shear modulus gradually increased. For the corrugated board with the same quantity of core papers and a different quantity of surface paper, the edgewise compression strength would increase with the increase in the quantity of surface paper. For the corrugated boards of same materials and different shapes, their edgewise compression strengths from large to small were type A, type B and type C. The parameters, such as physical property of corrugated medium and the structure of corrugated board have decisive impacts on the edgewise compression strength of corrugated board.

KEY WORDS: corrugated board; edgewise compression strength; original paper physical properties; structural parameters of the board

瓦楞纸板具有轻便、抗压、缓冲性能较好, 以及对环境无污染、可循环利用等优点, 在运输包装中得到了广泛的应用。目前, 我国在瓦楞纸板配纸方面的主要问题是设计规范不够成熟。合理的配比瓦楞纸板便可在源头上达到节约资源, 减少成本, 提高效率及产品质量等问题, 因而瓦楞纸板的配纸成为瓦楞纸板行业新发展成功的关键。目前瓦楞纸板的配纸主要通过结合经验数据

以及出样测试的方法, 这种方法费时费力, 且多依靠经验, 对保证质量、降低成本极为不利。

国内外学者对瓦楞纸板边压强度做了很多的研究。国外对瓦楞纸板边压强度的研究相对较早, 美国林产品研究所提出了计算边压强度的 Kellicutt 公式^[1]。Mckee 推导得到以瓦楞纸板的边压强度为基础的瓦楞纸箱的抗压强度简化公式^[2]。Baum G. A 等提出了

收稿日期: 2016-05-27

作者简介: 肖心明 (1972—), 男, 硕士, 吉林工程职业学院副教授, 主要研究方向为物理光电子。

测试边压强度的试验方法^[3]。王建清等^[4]通过对国产的瓦楞原纸、箱纸板的环压强度、瓦楞纸板的边压强度和纸板的抗压强度进行分析,并提出了瓦楞纸板边压强度修正系数。周媛等^[5]通过建立线性回归方程,采用 SAS 软件进行了分析,对三层、五层瓦楞纸板边压强度进行修正。由于我国对原纸物性、不同瓦楞纸板结构边压强度的研究还不够充分^[6-8],因此应通过实验测量原纸的定量和其基本物性参数,来分析瓦楞纸板边压强度与其基本物理参数之间的关系。

1 实验

1.1 瓦楞原纸的定量及其基本物性参数的测定

定量是纸最基本的一项物理指标,定量和其他参数能够改变纸张的性能,纸的其他基本物性参数主要有原纸厚度、纵横向的弹性模量和泊松比,可以通过测厚仪和拉伸实验来测定^[9]。

1.1.1 材料

实验选用同一纸浆、同种工艺制成芯纸和面纸。瓦楞芯纸定量分别为 120, 140, 170 g/m², 面纸定量分别为 140, 160, 170 g/m²。

1.1.2 主要仪器设备

主要仪器和设备: Q/ILBN2-2006CH-1-S 千分手式薄膜测厚仪、LRXPlus 电子材料试验机、THS-AOC-100AS 恒温恒湿试验机。

1.1.3 方法

1) 测量原纸的厚度。采用 Q/ILBN2-2006CH-1-S 千分手式薄膜测厚仪将每个试样进行厚度测量,测量 10 组取平均值。

2) 取样。选取瓦楞芯纸和瓦楞原纸各 3 种。每个试样选取纵向和横向各 10 条试样,试样宽度为 12.7 mm, 长度为 152 mm。

3) 试样的预处理。将选取好的试样放入恒温恒湿箱中,在相对湿度 65%下处理 24 h。

4) 实验仪器调节。使用 LRXPlus 电子材料试验机进行拉伸实验。确保每个样品从恒温恒湿箱取出后在 5 min 内能够完成相应测试,试样的尺寸为 152 mm×12.7 mm,材料试验机调整的拉伸夹距为 65 mm,应变的速率为 1 mm/min,进行 10 次重复实验,并取平均值。

5) 实验进行。由于在固定电子拉伸计的夹具时很难夹紧,固定测试纸条时给试样一个预应力将其固定,并需在不影响原纸性能的情况下,因此应力应变点的测试结果并不是从 0 点开始的。夹持试样时,需注意不能用手触到实验的部位。实验进行后,若出现在夹口 10 mm 以内断裂的试样则应该不记录这次实

验数据。

1.2 瓦楞纸板边压强度的测定

1.2.1 材料

为了避免因生产工艺条件等不同造成的差别,实验材料选择同一家纸板厂生产的瓦楞纸板。该次实验分为 4 组进行:第 1 组使用不同定量芯纸的瓦楞纸板进行实验,瓦楞纸板试样的面纸定量为 160 g/m²,芯纸的定量分别为 110, 120, 130, 140 g/m², 分别编号为 A₁, A₂, A₃, A₄;第 2 组使用不同定量面纸的瓦楞纸板进行实验,瓦楞纸板试样的芯纸的定量为 120 g/m²,面纸定量分别为 150 g/m² 和 150 g/m², 150 g/m² 和 160 g/m², 160 g/m² 和 160 g/m², 160 g/m² 和 170 g/m², 分别编号为 B₁, B₂, B₃, B₄;第 3 组使用不同综合定量的瓦楞纸板进行实验,试样为 250, 320, 360, 429, 500 g/m² 单瓦楞纸板, 375, 450, 560, 640, 700 g/m² 双瓦楞纸板;第 4 组使用不同楞型的瓦楞纸板进行实验, A 型、B 型、C 型纸板试样(每层定量分别为 160, 130, 160 g/m²) 分别编号为 C₁, C₂, C₃, A 型、B 型、C 型纸板试样(每层定量分别为 160, 140, 160 g/m²) 分别编号为 C₄, C₅, C₆。以上实验目的是探究当单一变量时原纸的定量以及结构对边压强度的影响。

1.2.2 主要仪器设备

主要仪器设备: LRXPlus 电子材料试验机; THS-AOC-100AS 恒温恒湿试验机。

1.2.3 实验原理与方法^[10-11]

将矩形瓦楞纸板(25 mm×100 mm)放置在测控压缩机实验的上下压盘之间,同时使试样的瓦楞方向垂直于两压板,并对试样施加压力直至压溃。通过上压盘连接的传感器感应出压溃时瞬间最大的力,电脑系统读取的最大压力就是边压强度(kN/m)。

选取不同定量的瓦楞纸板,用边压试样器裁成 25 mm×100 mm 的试样,需特别注意瓦楞方向应与 25 mm 方向一致,且不能有毛边、破损的现象并且刀口要光滑不能有毛刺。试样的预处理时,将选取好的试样放入至恒温恒湿箱中相对湿度为 65%下,处理 24 h。最后,在电子压缩试验机上进行实验,试样从恒温恒湿箱取出后需在 5 min 内完成测试,对瓦楞纸板施加恒定的加载速度(12 mm/min),每组选 10 个试样进行重复实验。

2 实验数据处理与分析

2.1 瓦楞原纸的定量及其基本物性参数的测定结果

原纸的厚度测量数据见表 1。根据弹性模量的定义^[12-15],在弹性极限内,线性应力与线性应变的比值,从原纸的拉伸力位移曲线分析可得,位移为 0.5~

表 1 原纸厚度测定
Tab.1 Paper thickness determination mm

编号	芯纸 120 g/m ²	芯纸 140 g/m ²	芯纸 170 g/m ²	面纸 140 g/m ²	面纸 160 g/m ²	面纸 170 g/m ²
1	0.189	0.230	0.282	0.165	0.231	0.225
2	0.188	0.230	0.259	0.160	0.232	0.225
3	0.218	0.221	0.271	0.170	0.225	0.221
4	0.208	0.232	0.261	0.165	0.190	0.227
5	0.212	0.229	0.270	0.163	0.220	0.228
6	0.210	0.229	0.268	0.163	0.215	0.223
7	0.202	0.233	0.277	0.170	0.229	0.222
8	0.200	0.227	0.260	0.167	0.223	0.228
9	0.208	0.231	0.262	0.163	0.197	0.223
10	0.190	0.228	0.265	0.164	0.221	0.226
平均值	0.204	0.229	0.267	0.165	0.220	0.225

1 mm 之间的是该材料纵向拉伸线弹性区,位移在 0.5 ~ 0.8 mm 之间的是该材料横向拉伸线弹性区,根据定义可推导出原纸的弹性模量为:

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} \tag{1}$$

式中: σ 为拉伸应力; ε 为拉伸应变。根据应力应变的定义, σ 和 ε 可以分别描述为:

$$\sigma = \frac{P}{t \times b} \tag{2}$$

$$\varepsilon = \frac{l}{L} \tag{3}$$

式中: P 为原纸的拉伸载荷; t 为原纸的厚度; b 为试样宽度,实验中 $b=12.7$ mm; l 为拉伸位移(mm); L 为实验时拉伸计的跨度,实验中 $L=65$ mm。实验结果见表 2。

表 2 原纸的弹性模量
Tab.2 The elastic modulus of base paper

纸类	厚度/mm	E_x /MPa	E_y /MPa	E_z /MPa
面纸 170 g/m ²	0.225	1313.48	2257.95	6.567
面纸 160 g/m ²	0.220	996.13	1769.57	4.981
面纸 140 g/m ²	0.165	874.10	1206.02	4.371
芯纸 170 g/m ²	0.267	1125.89	2033.88	5.629
芯纸 140 g/m ²	0.229	1111.80	1711.77	5.559
芯纸 120 g/m ²	0.204	1074.83	1687.18	5.374

注: E_x , E_y , E_z 分别为横向、纵向、厚度方向上的弹性模量

根据相关公式可以得出原纸的剪切模量和泊松比,见表 3。

由表 3 可得,原纸的定量越大,厚度越厚;原纸的纵向弹性模量总是大于横向弹性模量;相同类型的

原纸,随着定量的增大,其纵横向弹性模量和剪切模量逐渐增大。

表 3 原纸的剪切模量和泊松比
Tab.3 The base shear modulus and poisson ratio

纸类	G_{xy} /MPa	G_{xz} /MPa	G_{yz} /MPa	σ_{xy}	σ_{xz}	σ_{yz}
面纸 170 g/m ²	666.468	23.881	64.513	0.223	0.01	0.01
面纸 160 g/m ²	513.810	18.111	50.559	0.220	0.01	0.01
面纸 140 g/m ²	397.345	15.892	34.458	0.249	0.01	0.01
芯纸 170 g/m ²	585.627	20.470	58.111	0.218	0.01	0.01
芯纸 140 g/m ²	533.884	20.214	48.908	0.236	0.01	0.01
芯纸 120 g/m ²	521.148	19.542	48.205	0.234	0.01	0.01

2.2 瓦楞纸板边压强度的测定结果与分析

当面纸定量不变,芯纸定量变化时实验结果见表 4。当芯纸定量不变,面纸定量变化时实验结果见表 5。当瓦楞层数不变,纸板综合定量变化时实验结果见表 6。当纸板定量不变,瓦楞楞型变化时实验结果见表 7—8。通过以上数据可以看出,面纸定量相同,芯纸定量不同的瓦楞纸板,其边压强度随芯纸定量增大而增大;芯纸定量相同,面纸定量不同的瓦楞纸板,其边压强度随面纸定量增大而增大;材质相同,楞形不同的瓦楞纸板,其边压强度由大到小依次为 A 型、C 型、B 型。

表 4 不同定量芯纸边压强度实验
Tab.4 Edge compressive strength test of different quantitative core paper kN /m

定量	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
1	2.51	3.06	4.19	5.75
2	2.95	3.17	4.02	5.48
3	2.88	3.01	4.55	5.94
4	2.70	2.98	4.14	5.62
5	2.94	3.12	4.49	6.03
6	2.59	3.19	3.92	5.68
7	2.63	3.25	4.19	5.73
8	2.61	3.26	3.84	6.10
9	2.84	2.95	4.07	5.82
10	2.49	3.22	4.28	5.77
平均值	2.73	3.14	4.17	5.80

表 5 不同定量面纸边压强度实验
Tab.5 Edge compression strength test of different quantitative paper

kN/m				
定量	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
1	2.84	2.99	3.06	3.34
2	2.72	2.87	3.17	3.37
3	2.93	3.02	3.01	3.28
4	2.65	2.82	2.98	3.32
5	2.81	2.89	3.12	3.06
6	2.48	2.95	3.19	3.29
7	2.59	3.11	3.25	3.26
8	3.10	2.89	3.26	3.4
9	2.77	2.78	2.95	3.25
10	3.02	2.91	3.22	3.41
平均值	2.79	2.92	3.14	3.30

表 6 不同纸板综合定量边压强度实验
Tab.6 Edge compression strength test of comprehensive and quantitative of different kinds of paper

kN/m							
纸板综合定量/(g·m ⁻²)		1	2	3	4	5	平均值
单瓦楞	250	3.11	3.16	3.28	3.30	3.23	3.22
	320	3.60	3.77	3.60	3.66	3.80	3.69
	360	4.75	4.45	4.65	4.72	4.58	4.63
	429	5.50	5.49	5.56	5.59	5.47	5.52
	500	6.49	6.63	6.53	6.58	6.71	6.59
双瓦楞	375	4.58	4.71	4.69	4.70	4.65	4.67
	450	5.54	5.95	5.59	5.95	5.67	5.74
	560	6.94	6.99	7.12	7.08	6.94	7.01
	640	8.28	8.34	8.40	8.39	8.42	8.37
	700	9.31	9.28	9.41	9.26	9.37	9.33

表 7 不同楞型边压强度实验 1
Tab.7 Edge compression strength test of different types 1

kN/m			
楞型	C ₁	C ₂	C ₃
1	4.11	3.58	4.05
2	4.34	3.42	4.02
3	4.38	3.88	3.86
4	4.24	3.94	3.72
5	4.30	3.90	3.79
6	4.28	3.82	3.84
7	4.23	3.73	3.77
8	4.39	3.59	3.95
9	4.18	3.70	3.81
10	4.23	3.61	3.94
平均值	4.27	3.70	3.88

表 8 不同楞型边压强度实验 2
Tab.8 Edge compression strength test of different types 2

kN/m			
楞型	C ₄	C ₅	C ₆
1	5.99	5.04	5.04
2	6.01	5.19	5.28
3	5.89	5.08	5.19
4	5.80	4.94	5.22
5	5.81	4.90	5.10
6	5.78	4.82	5.02
7	5.82	4.93	5.07
8	5.74	4.86	5.12
9	5.76	4.70	5.04
10	5.73	5.12	5.18
平均值	5.83	4.96	5.13

3 结语

原纸的定量越大，厚度越厚。原纸的纵向弹性模量总是大于横向弹性模量。相同类型的原纸，随着定量的增大，其纵横向弹性模量和剪切模量逐渐增大。面纸定量相同、芯纸定量不同的瓦楞纸板，其边压强度随芯纸定量增大而增大。芯纸定量相同、面纸定量不同的瓦楞纸板，其边压强度随面纸定量增大而增大。材质相同、楞形不同的瓦楞纸板，其边压强度由大到小依次为 A 型、C 型、B 型。

原纸的定量与其基本物性存在必然的联系，原纸的定量与结构能导致边压强度的变化，进而表明原纸的基本物性的变化能够导致边压强度的变化。

参考文献：

[1] 罗玲. 瓦楞纸箱抗压强度研究[D]. 广州：暨南大学，2010.
LUO Ling. The Study of the Compression Strength of Corrugated Box[D]. Guangzhou: Jinan University, 2010.

[2] MCKEE R C. Compression Strength Formula for Corrugated Boxes[J]. Paperboard Packaging, 1963, 48(8): 149—159.

[3] BAUM G A, BRENNAN D G, HABEGER C C. Orthotropic Elastic Constants of Paper[J]. TAPPI, 1981, 64(8): 97—101.

[4] 王建清，于迪，李军富，等. 国产原纸环压强度与瓦楞纸板、纸板抗压强度之间关系的研究[J]. 包装工程, 2000, 21(2): 9—13.
WANG Jian-qing, YU Di, LI Jun-fu, et al. Study of Relation Between RCT of the Homemade Base Paper and ECT, BCT[J]. Packaging Engineering, 2000, 21(2): 9—13.

- [5] 周媛. 瓦楞纸板的结构增强与配比技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
ZHOU Yuan. Research on Structural Strengthen and the Technology of Choosing Components of Corrugated Board[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.
- [6] 王冬梅. 多层瓦楞纸板缓冲性能应变率效应[J]. 功能材料, 2008, 39(S1): 375—377.
WANG Dong-mei. Cushioning Properties of Multi-Layer Corrugated Paperboards under Different Strain Ratio[J]. Journal of Functional Materials, 2008, 39(S1): 375—377.
- [7] 王悦, 张惠忠. 角柱型瓦楞纸套箱抗压强度的研究[J]. 包装工程, 2014, 35(21): 30—34.
WANG Yue, ZHANG Hui-zhong. Compressive Strength of Angle-type Corrugated Carton[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(21): 30—34.
- [8] DUONG V H, YUSUKE N, FUMIHIKO T, et al. Preserving the Strength of Corrugated Cardboard under High Humidity Condition Using Nano-Sized Mists[J]. Composites Science and Technology, 2010, 70(14): 2123—2127.
- [9] 琼斯. 复合材料力学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981.
JONES R M. Mechanics of Composite Materials[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1981.
- [10] 王建清. 包装材料学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
WANG Jian-qing. Packaging Materials Science[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2004.
- [11] 彭国勋. 瓦楞包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2013.
PENG Guo-xun. Corrugated Packing Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2013.
- [12] 张连文, 冯冰冰, 程金茹, 等. 双面国家 A 级高强度 AB 楞纸板边压和耐破强度试验研究[J]. 包装与食品机械, 2015, 33(5): 5—8.
ZHANG Lian-wen, FENG Bing-bing, CHENG Jin-ru, et al. Research on Edgewise Crush Resistance and Bursting Strength Tests of Double-sided National A Level High Strength AB Corrugated Paperboard[J]. Packaging and Food Machinery, 2015, 33(5): 5—8.
- [13] 张惠忠. 防划伤瓦楞纸箱与涂布新工艺的研究及探索[J]. 纸包装工业, 2014(1): 65—67.
ZHANG Hui-zhong. Research and Exploration of Prevent Scratches Corrugated Carton and the New Technology of the Coating[J]. Paper Packaging Industry, 2014(1): 65—67.
- [14] TUCKER M T, HORSTEMEYER M F, WHITTINGTON W R, et al. The Effect of Varying Strain Rates and Stress States on the Plasticity, Damage, and Fracture of Aluminum Alloys[J]. Mechanics of Materials, 2010, 42(10): 895—907.
- [15] 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.