

## 瓦楞纸板边压强度 2 种测试方法的分析比较

周颖红, 郭仁宏, 黎敏

(广东出入境检验检疫局检验检疫技术中心, 广州 510623)

**摘要:** 通过采用边缘不上蜡法和边缘补强法测试瓦楞纸板的边压强度, 用 SPSS 数据统计软件分析比较了 2 种测试方法在进行纸箱抗压力预测计算时的拟合优劣, 引用 Eulerian 弹性受压变形理论论证, 从实验和理论上证明了 2 种边压强度测试方法在用于马基公式计算纸箱抗压力预测值时的可替代性。分析指出了用凯里卡特公式预测计算纸箱抗压力时, 用边压强度代替原纸的综合环压, 其抗压力预测值与实测值的拟合度更高。

**关键词:** 边压强度; 测试方法; 补强; 抗压力; 比较

**中图分类号:** TB484.1; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)17-0063-05

### Comparison of Two Edgewise Crush Test Methods of Corrugated Fiberboard

ZHOU Ying-hong, GUO Ren-hong, LI Min

(Guangdong Inspection and Quarantine Technology Centre, Guangzhou 510623, China)

**Abstract:** Edgewise crush strength of corrugated cardboard was tested using un-waxed edge method and edge reinforced method. The advantages of the two methods in fitting for the cardboard compression strength prediction were analyzed and compared using SPSS software. The fungibility of the two methods in cardboard compression strength prediction based on Makee formula was proved empirically and theoretically using Eulerian elastic compressive deformation theory. It was concluded that when using the Kellicutt formula to calculate the compression strength, the fit statistics of the predicted compression strength with lab test readings is higher when replace the edge crush strength with the integrated ring crush of base paper.

**Key words:** edgewise crush strength; test method; reinforce; compression strength; comparison

瓦楞纸板边压强度的测定在我国有 2 种标准方法: GB/T 6546—1998<sup>[1]</sup>, 该标准等同采用 ISO 3037: 1994<sup>[2]</sup> (以下简称边压强度); GB/T 2679.17—1997<sup>[3]</sup> (以下简称补强边压)。纸箱行业常用的抗压力预测计算公式<sup>[4]</sup>有马基公式和凯里卡特公式, 前者是根据瓦楞纸板的补强边压、厚度和纸箱周长预测计算抗压力, 后者则是根据构成瓦楞纸板所用原纸的综合环压强度和瓦楞常数及纸箱常数预测计算纸箱抗压力。由于实验证明<sup>[5]</sup>瓦楞纸板所用原纸的综合环压强度与瓦楞纸板的边压强度是基本一致的, 因此分析瓦楞纸板边压强度和补强边压测试结果差异, 探讨在进行纸箱抗压力预测计算时, 用边压强度代替补强边压或综合环压的可能性具有实际应用的意义。

## 1 实验

### 1.1 样品数量规格

从 20 多家纸箱生产企业选取有代表性纸箱 30 批, 规格涉及大中小型纸箱, 楞型涉及 A, B, C 楞, 瓦楞纸板层数涉及 3 层、5 层和 7 层。其中有 14 批生产厂还提供了对应的原纸, 可供实验室进行原纸环压强度测试。

### 1.2 测试项目和标准方法

1) 空箱抗压力按 GB/T 4857.4—2008<sup>[6]</sup>的要求进行测试。每批样品测试 3 个纸箱, 取其算术平均值。

2) 边压强度从每批样品中取 1~2 个纸箱按 GB/T 6546—1998 的要求制取 10 片 (25±0.5) mm

收稿日期: 2012-06-08

基金项目: 中国质量监督检验检疫总局科研项目(2011IK257)

作者简介: 周颖红(1962—), 女, 广东化州人, 广东出入境检验检疫局检验检疫技术中心高级工程师, 主要从事包装检验工作。

×(100±0.5)mm,楞向与短边平行的样片进行测试,结果取其算术平均值。制取试样时注意避开压痕和有印刷的部位。

3) 补强边压从制取边压强度的同一纸箱中按 GB/T 2679.17-1997 边缘补强法的要求制样:A 楞或双瓦楞纸箱至少制取 10 片(50.8±0.8)mm×(50.8±0.8)mm 的样片;C 楞纸箱至少制取 10 片(38.1±0.8)mm×(50.8±0.8)mm 的样片;B 楞纸箱至少制取 10 片(32.0±0.8)mm×(50.8±0.8)mm 的样片。要求样片楞向与短边平行。在每个受力边缘(长度方向)浸入熔融的石蜡 6 mm 深。结果取 10 个有效测试值的算术平均值。制取试样时需注意避开压痕和有印刷的部位。

4) 原纸横向环压强度的测试按照 GB/T 2679.8-1995<sup>[7]</sup>进行,从样品中沿纵向制取长(152.0±0.2)mm,宽(12.7±0.1)mm 的试样不少于 10 片,确定试

样的边缘无毛边,无影响测定结果的其他缺陷,试样两长边的平行度误差不大于 0.015 mm。取 10 个有效测试值的算术平均值。测定横向环压强度的试样长边是平行于纵向的。

5) 瓦楞纸板厚度按 GB/T 6547-1998<sup>[8]</sup>的要求进行测试。

6) 纸箱规格尺寸按 GB/T 6543-2008<sup>[9]</sup>的相关要求测量内尺寸。

### 1.3 测试的环境条件

样品前处理:将样品置于温度(23±2)℃、相对湿度(50±5)%的环境下处理 24 h,并在此环境下制样和测试。

### 1.4 测试结果

测试结果见表 1。表 1 中,楞型 A 表示 A 楞单瓦楞纸箱,楞型 BC 表示 BC 楞的双瓦楞纸箱,如此类推。其中 14 批纸箱有对应原纸的横向环压强度,并

表 1 瓦楞测试结果

Tab.1 Test results of corrugated cardboard

序号	楞型	长 /mm	宽 /mm	高 /mm	厚度 /mm	抗压力 /N	边压强度 /(N·m <sup>-1</sup> )	补强边压 /(N·m <sup>-1</sup> )	综合环压 /(N·m <sup>-1</sup> )
1	B	314	249	295	3.08	2220	4490	5310	4576
2	B	500	466	564	3.77	2220	2940	4300	6400
3	C	315	246	295	3.97	3620	5100	6650	6728
4	B	495	350	297	3.24	2700	5910	7750	6803
5	BC	370	255	315	6.32	3020	5490	7260	5189
6	C	495	341	297	4.21	4420	6750	9300	8280
7	C	349	346	342	3.71	2670	6760	8930	8846
8	A	494	350	297	4.48	3470	5540	8230	7851
9	BC	306	240	295	6.73	6050	8390	11 450	8679
10	BC	308	246	294	6.63	6080	7690	9830	8709
11	BA	346	253	290	7.33	4010	7240	8970	8121
12	BC	492	345	295	6.66	5840	7690	11970	8714
13	BC	601	497	465	7.20	13 440	17 910	20 900	18 079
14	BCB	486	340	295	10.00	9780	14 140	20 660	20 229
15	B	395	380	255	2.90	1910	3760	5870	
16	BC	300	280	230	6.67	6030	7920	12 860	
17	BC	400	300	300	6.50	3960	5370	7760	
18	BC	400	300	400	6.62	5800	8090	12 500	
19	BC	430	287	220	6.90	3780	5850	7730	
20	BC	460	295	430	6.31	3200	5210	7260	
21	BC	470	300	380	6.68	4360	6730	8590	
22	BC	542	244	296	6.60	4780	7760	9990	
23	BC	550	300	400	6.69	5050	7180	8760	
24	BC	480	380	370	6.69	5140	7250	8320	
25	BC	500	360	400	6.66	5650	6930	8230	
26	BBC	350	220	220	9.09	4540	6690	9270	
27	B	338	168	173	3.12	2540	6190	8220	
28	C	271	211	228	4.03	3000	6510	8590	
29	C	292	253	213	4.16	2220	5030	6980	
30	C	321	227	176	4.04	2110	4240	6040	

根据式(1)计算得到对应瓦楞纸板原纸的综合环压。

$$P_x = \frac{\sum R_i + \sum R_m r}{100} \quad (1)$$

式中: $P_x$  为瓦楞纸板原纸的综合环压(N/m); $R_i$  为面纸、中纸的横向环压强度(N/m); $R_m$  为瓦楞原纸横向环压强度(N/m); $r$  为瓦楞收缩率,也称瓦楞伸长系数,是指制造 1 m 长的瓦楞纸成品所需的瓦楞原纸长度。本实验是通过 1 片(100±0.5)mm 长的楞向与短边(短边约 15 mm)平行的瓦楞纸板样片中的楞纸分离后伸平测量而得。

## 2 计算与讨论

### 2.1 边压强度与补强边压的比较

边压强度与补强边压的对照结果见图 1。从图 1

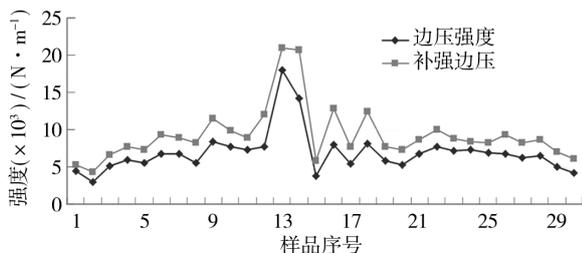


图 1 边压强度与补强边压的对比

Fig. 1 The comparison between edgewise crush strength and reinforced edge compression

可以看出,边压强度值明显比补强边压值小,普遍比补强边压值小 15%~40%。这是由于测试补强边压时,被测纸板的上下 6 mm(1/4 英寸)处用石蜡浸泡补强,实际压溃的位置是纸板的中部薄弱的地方,而边压强度测试时,被测纸板不经过任何处理直接压缩,实际压溃的是瓦楞纸板的边缘,由于边缘效应的影响,其测试值明显比前者低。

### 2.2 边压强度与补强边压测试值在马基抗压力计算公式中的预测值比较

R. C. Mckee 等学者通过对纸箱抗压力和补强边压的实验测试研究,归纳得出了马基简易公式<sup>[10]</sup>,见式(2)。有学者<sup>[11]</sup>认为该公式直接采用纸板的边压特性来推算,且被测试纸板的上下 6 mm(1/4 英寸)处用溶液浸泡补强,其测试更接近纸箱实际抗压情况。

$$P = 5.87 P_m \sqrt{TZ} \quad (2)$$

式中: $P$  为瓦楞纸箱抗压强度(N); $P_m$  为瓦楞纸板补强边压(N/cm); $T$  为瓦楞纸板厚度(cm); $Z$  为瓦楞纸箱周长,以外尺寸计(cm)。

马基公式只适用于周长 762~3429 mm,高和周长之比大于 1/7 范围的 0201 型纸箱,超出此范围则不适用。

实验所用纸箱的箱型结构及规格在马基公式的适用范围,将表 1 的测试结果分别代入式(2),计算出抗压力的补强边压马基值(即马基值)和边压强度马基值(即边压马基值),然后将其与抗压力实测值进行比较,见图 2,并运用 SPSS 数据统计软件分别对抗压

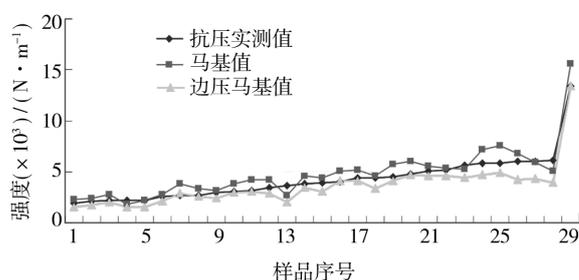


图 2 抗压力实测值与马基预测值的对比

Fig. 2 Comparison of Lab test readings of compression strength with the predicted compression strength from Mckee formula

实测值与马基值、边压马基值进行直线回归分析见表 2,得出其线性拟合度(表 2 中的调整  $R^2$ )分别为 0.896

表 2 抗压力实测值与预测值的线性拟合度分析

Tab. 2 Linear fit analysis of test and predicted value of compression strength

模型	$R$	$R^2$	调整 $R^2$	标准估计的误差
马基值	0.947	0.896	0.892	790.143
边压马基值	0.951	0.904	0.901	759.347

和 0.904,可见,采用补强边压计算的“马基值”和采用边压强度计算的“边压马基值”与实测值均无显著差异,但边压强度测试简捷,一般实验室都可进行,因此可用边压强度代替马基公式的补强边压。

### 2.3 边压强度与补强边压测试时受压变形模式对比

按照 Eulerian 受压变形模式<sup>[12]</sup>,边压测试时控制试样弹性受压变形的参数如下: $\delta$  为应力, $E$  为弹性模数, $I$  为转动惯量, $\lambda$  为细长比, $\gamma$  为旋转半径, $L$  为长度(自由距), $A$  为横截面积, $b$  为宽度, $t$  为厚度。

$$\text{由方程: } \delta = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

$$\text{式中 } \lambda = \frac{L}{\gamma}, \text{ 代入 } \gamma = \sqrt{\frac{I}{A}}, I = \frac{bt^3}{12}, A = bt, \text{ 得出 } \lambda$$

$$= 2\sqrt{3} \frac{L}{t}$$

当  $\lambda > 100$  时, 受压试样全部为弹性变形;  $\lambda$  在 30 ~ 100 范围内则是假弹性变形;  $\lambda < 30$  时为塑性变形。

边压强度试样的自由距  $L$  为 25 mm, 对于不同厚度试样(B, C, A 楞及其组合)的细长比  $\lambda$  在 5.7 ~ 26.2 之间。

补强边压试样的未浸石蜡高度即自由距  $L$  分别为:

A 楞和双瓦楞试样  $L = 50.8 - 2 \times 6 = 38.8$  (mm)

C 楞试样  $L = 38.1 - 2 \times 6 = 26.1$  (mm)

B 楞试样  $L = 32 - 2 \times 6 = 20$  (mm)

对于不同厚度试样(B, C, A 楞及其组合)补强边压试样的细长比  $\lambda$  在 8.9 ~ 26.9 之间。

无论是边压强度测试法还是补强边压测试法, 其试样受压后的变形皆为塑性变形, 可真实地表示其垂直边的抗压强度。也就是说, 从 2 种测试方法使试样受压变形的模式理论上, 可以解释其用于计算纸箱抗压力预测值的可替代性。

### 2.4 边压强度与补强边压测试值在凯里卡特抗压力计算公式中的预测值比较

Keith Q. Kellcutt 等人提出的凯里卡特抗压力计算公式<sup>[13]</sup>, 是基于对长度为 6.5 英寸(15.2 cm)的瓦楞原纸试样的环压强度值与纸箱的周长的关系进行推导而得到的:

$$P = P_x \left( \frac{4aXz}{Z} \right)^{\frac{2}{3}} ZJ \quad (3)$$

式中:  $P$  为瓦楞纸箱抗压强度(N);  $P_x$  为瓦楞纸板原纸的综合环压强度(N/cm);  $aXz$  为瓦楞常数, 见表 2;  $Z$  为瓦楞纸箱周长, 以外尺寸计(cm);  $J$  为纸箱常数, 见表 3。

表 3 凯里卡特公式中的常数值<sup>[14]</sup>

Tab.3 The values for constants in Kellcutt formula

楞型	A	B	C	AA	AB
$aXz$	8.36	5.00	6.10	16.72	13.36
$J$	1.10	1.27	1.27	0.94	1.01
楞型	AC	BB	BC	BAB	BBC
$aXz$	14.46	10.00	11.10	18.36	16.10
$J$	1.02	1.08	1.08	0.98	1.02

将表 1 的实验结果分别代入式(3), 并分别用边压强度和补强边压代替综合环压, 计算出抗压力的凯里卡特值、边压强度凯里卡特值和补强边压凯里卡特值, 然后将其与抗压力实测值进行比较, 见图

3。分别对抗压力实测值与凯里卡特值、边压强度凯

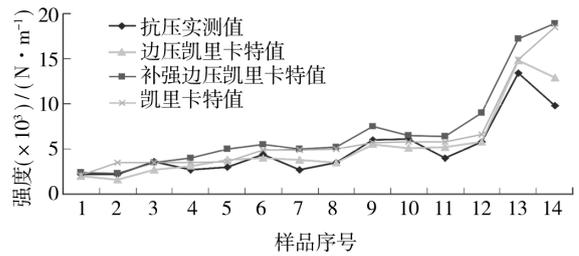


图 3 抗压力实测值与凯里卡特预测值的比较 1

Fig.3 Comparison (1) of Lab test with the predicted compression strength values from Kellcutt formula

里卡特值、补强边压凯里卡特值进行直线回归分析, 见表 4。

表 4 抗压力实测值与预测值的线性拟合度分析(14 组样本)

Tab.4 Linear fit analysis of test and predicted values of compression strength(14 groups of samples)

卡特值	R	R <sup>2</sup>	调整 R <sup>2</sup>	标准估计的误差
凯里	0.894	0.799	0.782	1492.035
边压强度凯里	0.967	0.934	0.929	853.159
补强边压凯里	0.935	0.874	0.863	1181.601

从表 4 的线性回归分析结果看, 边压强度凯里卡特值的线性拟合度(表 4 中的调整  $R^2$ )最大, 可见, 采用边压强度计算的凯里卡特值比采用原纸综合环压计算的凯里卡特值及采用补强边压计算的凯里卡特值更贴近实测值; 使用上述 30 组样本数据计算的边压凯里卡特值和补强边压凯里卡特值与实测值进行比较, 见图 4、表 5, 其线性拟合度分别为 0.894 和 0.872, 仍

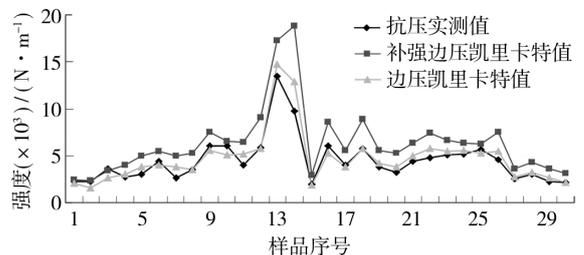


图 4 抗压力实测值与凯里卡特预测值的比较 2

Fig.4 Comparison (2) of Lab test with the predicted compression strength values from Kellcutt formula

显示边压凯里卡特值比补强边压凯里卡特值更贴近实测值。

表 5 抗压力实测值与预测值的线性拟合度分析(30 组样本)

Tab.5 Linear fit analysis of test and predicted values of compression strength (30 groups of samples)

凯里卡特值	R	R <sup>2</sup>	调整 R <sup>2</sup>	标准估计的误差
边压强度	0.947	0.897	0.894	785.607
补强边压	0.936	0.877	0.872	860.267

### 3 结论

由于边缘效应的影响,采用 GB/T 6546—1998 边缘不上蜡法测得的瓦楞纸板边压强度比采用 GB/T 2679.17—1997 边缘补强法测得的补强边压强度低 15%~40%。尽管边缘补强法边压强度的测试更接近纸箱实际抗压情况,但在进行抗压力预测计算时,采用补强边压值进行预测计算没有明显的优势。由于 2 种边压强度测试法试样的细长比  $\lambda$  皆处于试样受压后的塑性变形范围,皆可真实地反映其边压强度,故在进行抗压力预测计算时可不考虑原公式对边压测试法的要求,直接使用边压强度(边缘不上蜡法)的测试值进行计算更简便,甚至有可能更贴近抗压力实测值。此外,在使用凯里卡特公式进行抗压力计算时,采用瓦楞纸板边压强度代替原纸的综合环压进行计算,其预测值更贴近纸箱的抗压实测值。

#### 参考文献:

- [1] GB/T 6546—1998,瓦楞纸板边压强度测定法[S].  
GB/T 6546—1998,Corrugated Fibreboard—Determination of Edgewise Crush Resistance[S].
- [2] ISO 3037:1994,瓦楞纸板——边缘耐压强度的测定(边缘不上蜡法)[S].  
ISO 3037:1994,Corrugated Fibreboard — Determination of Edgewise Crush Resistance (Unwaxed Edge Method) [S].
- [3] GB/T 2679.17—1997,瓦楞纸板边压强度的测定(边缘补强法) [S].  
GB/T 2679.17—1997,Corrugated fibreboard—Determination of Edgewise Crush Resistance (Edge Reinforced Method)[S].
- [4] 彭国勋.瓦楞包装设计[M].北京:印刷工业出版社,2007.
- [5] PENG Guo-xun. Corrugated Packing Design [M]. Beijing:Graphic Communications Press,2007.
- [5] 周颖红.新修订的国家标准《瓦楞纸板》中技术指标的确定[J].包装工程,2008,29(5):187—189.  
ZHOIU Ying-hong. Reexamining the Major Technological Index in the Latest National Standard of "Corrugated Fiberboard" [J]. Packaging Engineering, 2008, 29 (5): 187—189.
- [6] 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].  
GB/T 4857.4—2008, Packaging—Basic Tests for Transport Packages—Part 4: Compression and Stacking Tests Using a Compression Tester[S].
- [7] GB/T 2679.8—1995,纸和纸板环压强度的测定[S].  
GB/T 2679.8—1995, Paper and Board—Determination of Compressive Strength—Ring Crush Method[S].
- [8] GB/T 6547—1998,瓦楞纸板厚度的测定法[S].  
GB/T 6547—1998, Corrugated Fibreboard—Determination of Thickness[S].
- [9] GB/T 6543—2008,运输包装用单瓦楞纸箱和双瓦楞纸箱[S].  
GB/T 6543—2008, Single and Double Corrugated Boxes for Transport Packaging[S].
- [10] MCKEE R C. Paperboard Package, 1963, 48(8): 149—159. (余不详)
- [12] 余本农,平幼妹.瓦楞纸箱抗压强度计算方法[J].包装工程,1991,12(2):76—80.  
YU Ben-nong, PING You-mei. The Calculation of Compression Force of Corrugated Cardboard[J]. Packaging Engineering, 1991, 12(2): 76—80.
- [12] 张景彦.纸及纸板边压强度测定法的分析比较[J].天津造纸,1999(2):12—15.  
ZHANG Jing-yan. Comparison Analysis of Edgewise Crush Resistance Test Methods of Paper and Paperboard [J]. Tianjin Paper Making, 1999(2): 12—15.
- [13] KELLICUTT K Q, LANDT E F. Information Reviewed and Reaffirmed. September, 1958: 1911. (余不详)
- [14] 杨瑞丰.瓦楞纸箱生产实用技术[M].北京:化学工业出版社,2006.  
YANG Rui-feng. Corrugated Boxes Produce Applied Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.