

文章编号: 1006-4710(2000)01-0096-05

凯里卡特公式的修正

赵麦群^{1,2}, 王迪功¹, 许兴祥¹

(1. 西安理工大学, 陕西 西安 710048; 2. 西北工业大学)

摘要: 针对凯里卡特公式使用过程中, 计算值与测量值有较大偏差及纵横比对抗压强度的影响, 在箱高大于 25cm 的条件下, 提出了一个修正因子 k 。引入修正因子 k 的凯里卡特公式不但反映了纵横比 A 的影响, 且经实验和资料数据验证, 修正后的公式比原公式的计算结果更符合实际测量结果。对凯里卡特公式中英、公制转换常数不变的现象进行了纠正, 提出了一套公制条件下凯里卡特公式的使用常数。

关键词: 凯里卡特公式; 纵横比; 抗压强度; 瓦楞纸箱

中图分类号: TS764

文献标识码: A

Modification to Kellicutt Formula

ZHAO Mai-qun^{1,2}, WANG Di-gong¹, XU Xing-xiang¹

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Northwestern Polytechnical University)

Abstract: There is a large deviation between the calculated and measured values as well as an effect of longitude and latitude ratio upon the compressive strength in the course of application of Kellicutt formula. In the case of box height of over 25cm, a revised factor k is presented. Kellicutt formula with the revised factor induced not only reflect A effect of longitude and latitude ratio, but also is tested via the experiments and information data. The calculated results from the revised formula are more identical to the actually-measured ones compared with those calculated by the original formula. Also, the phenomenon of unchangeable constant in conversion of English system into metric system in Kellicutt formula is corrected thereby suggesting a frequently-used constant for Kellicutt formula in the case of metric system.

Key words: Kellicutt formula; longitude and latitude ratio; compressive strength; corrugated paper box

在现代包装中, 瓦楞纸箱因其轻便、牢固、美观、价廉, 同时具有良好的缓冲减振性等特点, 越来越受到重视。瓦楞纸箱的抗压强度是衡量纸箱质量的一项重要指标, 也是设计瓦楞纸箱的一个主要依据。为了能够准确地评价瓦楞纸箱的抗压强度, 国外的包装工作者在这方面进行了大量的工作^[1,2], 提出了许多经验公式, 尤以凯里卡特公式应用最为广泛。凯里卡特公式精度较高, 但与实测值仍有较大的差距, 加上国内教科书引用该公式时单位量纲系列混乱, 使凯里卡特公式更难符合实际^[3,4]。因此, 本文对凯里卡特公式进行了综合分析, 并进行了修正和验证的研究工作。

1 瓦楞纸箱抗压强度的评价

瓦楞纸箱的抗压强度是指箱体破坏时的最大荷重, 可用破坏时的变形量来表示。实际测量时,

收稿日期: 1999-01-06

责任编辑 陈 洁

作者简介: 赵麦群(1960-), 男, 西安理工大学副教授, 西北工业大学博士生。

是在空箱条件下单个测定的,它代表了最稳定的强度。也可用算法评价瓦楞纸箱的抗压强度,算法有堆码计算和经验公式算法。

所谓堆码法是把纸箱进行多层堆叠,直至最底层纸箱压溃时,记录所堆叠的层数和高度,然后用公式(1)计算瓦楞纸箱的抗压强度:

$$P = W \cdot K \cdot \left(\frac{H}{h} - 1 \right) \quad (1)$$

式中, P 为瓦楞纸箱的抗压强度(kgf); K 为安全系数; H 为堆码高度(cm); h 为瓦楞纸箱的单体高度(cm); W 为瓦楞纸箱的单体重量(kgf)。

安全系数 $K = K_1 K_2$, 其中 K_1 是制造中的条件系数, $K_1 = k_1 k_2$; K_2 是流通中的条件系数, $K_2 = k_3 k_4 k_5 k_6 k_7$ 。这里, k_1 为原纸的质量波动系数; k_2 为制造工艺低劣系数; k_3 为长久保存引起的强度下降系数; k_4 为由湿度引起的强度下降系数; k_5 为由堆放引起的强度下降系数; k_6 为由运输引起的强度下降系数; k_7 为由装卸引起的强度下降系数。

由公式(1)可知,堆码算法的因素很全面。但此法要求一是要做实验,二是要精确确定每项系数。这使堆码法的使用受到一定程度的限制。

瓦楞纸箱设计的主要依据是抗压强度,如果能根据事先已知的条件,计算出箱的抗压强度,而不必一个个去测定,那就非常方便了。为此,国外已总结出许多计算瓦楞纸箱抗压强度的经验公式,如凯里卡特公式、马丁霍特公式和沃福公式等。这些公式都是在一定的条件下总结出来的,不仅使用范围有限,而且与实际情况有较大的出入。只有凯里卡特公式的计算结果与实际测定结果相差最小,所以使用也最为广泛,其数学表达式如下:

$$P = P_r \left[\left(\frac{dx_2}{Z/4} \right)^2 \right]^{1/3} \cdot Z \cdot J \quad (2)$$

式中, P 为所求瓦楞纸箱的抗压强度(lb); P_r 为原纸的综合环压强度(lb); dx_2 为瓦楞常数; Z 为纸箱周长(in); J 为箱形系数。

原纸的综合环压强度随瓦楞纸的层数而变,对于常用的三层、五层瓦楞纸分别用以下两式计算:

$$P_r = (R_1 + R_2 + R_m C) / 6 \quad (3)$$

$$P_r = (R_1 + R_2 + R_3 + R_m C + R_{m1} C_1) / 6 \quad (4)$$

式中, R_1 、 R_2 、 R_3 为面、里、芯纸的环压强度(lb); R_{m1} 、 R_m 为瓦楞原纸的环压强度(lb); C 、 C_1 为芯纸的瓦楞收缩率。

式(2)采用英制单位,使用起来十分不便。根据英、公制间的关系,若环压强度采用公制单位牛顿,则公制单位凯里卡特公式中的常数见表1。

表1 公制凯里卡特公式中的常数

常数名	楞形			
	A	B	C	AB
dx_2	21.23	12.70	15.49	33.93
J	0.59	0.68	0.68	0.55
C	1.532	1.361	1.477	—

2 凯里卡特公式的修正

实践证明,用凯里卡特公式计算所得的纸箱抗压强度值总小于纸箱的实际测量值,两者之差大体在5%左右。为了减少这一误差,寻求出一个更加合理的计算公式,可先分析一下瓦楞纸箱三个主要结构因素与纸箱抗压强度之间的关系。如图1、2、3所示^[1]。

从图中可以看出:(1)纸箱高度在25 cm以下,高度对其抗压强度影响较大;当超过25 cm以上时,则几乎没有影响。(2)纸箱纵横比(即长、宽比)对抗压强度的影响较大,纵横比与抗压强度成二次函数关系。(3)纸箱抗压强度与其周长近似成正比例关系,即随着纸箱周长的增大,纸箱的抗压强度也增大。

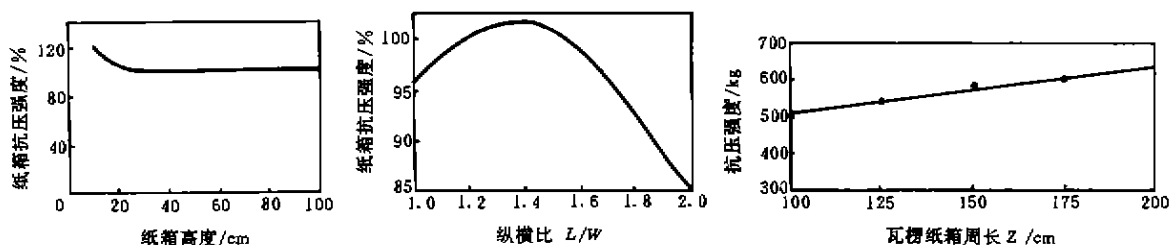


图1 纸箱高度与抗压强度的关系 图2 纸箱纵横比与抗压强度的关系 图3 瓦楞纸箱周长与抗压强度的关系

凯里卡特公式(2)采用的箱形系数 J 反映了周长的影响因素,但它作为常数,不能反映高度和纵横比的影响。假定所研究的纸箱高度大于 25 cm,高度的影响可以忽略,则影响凯里卡特公式计算精度的另一主要因素便是纵横比。

公式(5)为沃福公式:

$$P = \frac{[6.55 P_w \sqrt{tZ} (-0.1217A^2 + 0.3228A + 1)]}{H^{0.647}} \quad (5)$$

式中, P 为纸箱抗压强度(lb); Z 为纸箱周长(in); t 为纸箱厚度(in); P_w 为瓦楞纸板的纵向抗压强度(lb); H 为纸箱的高度(in); A 为纸箱的纵横比。

沃福公式引入了一个因子 $(-0.1217A^2 + 0.3228A + 1)$, 这个因子近似地反映了纵横比与抗压强度的二次函数关系。

在修正的凯里卡特公式中,笔者采用了沃福公式中二次式因子的曲线形状,并根据图2所示的纸箱最大抗压强度来确定修正因子的常数项。由图2可见,纸箱最大抗压强度约为 102%,考虑到凯里卡特公式总是比实测值小 5% 这一现象,在修正因子中需加上 5%,即使纸箱最大抗压强度达到 107%。

令修正因子为:

$$k = -0.1217A^2 + 0.3228A + C \quad (6)$$

经完全配方得:

$$k = -0.1217(A - 1.3262)^2 + 1.07 \quad (7)$$

化简后得新的修正因子:

$$k = -0.1217A^2 + 0.3228A + 0.856 \quad (8)$$

修正后的凯里卡特公式为:

$$P = P_s \left[\left(\frac{dx_2}{Z/4} \right)^2 \right]^{1/3} \cdot Z \cdot J \cdot (-0.1217A^2 + 0.3228A + 0.856) \quad (9)$$

3 修正后凯里卡特公式的验证

3.1 用三层“杨森公司纸箱”验证新的凯里卡特公式

杨森公司纸箱是西安西北纸箱厂生产的三层瓦楞纸箱,楞形为 A 型,其尺寸规格为 369mm × 332mm × 295mm,其面、里纸为 300 g/m² 的加拿大箱板纸,芯纸为 180 g/m² 的日本瓦楞原纸。用瑞士 L&W 公司的 5-1 型环压测定仪对上述原纸进行测定,所得结果见表 2、3。用瑞士 L&W 公司堆码压力机测得成箱的抗压强度值见表 4。

因为 $R_1 = R_2 = 349.46\text{N}$, $R_w = 298\text{N}$, $Z = (36.9 + 33.2) \times 2 = 140.2$, $A = 369/332 = 1.11$, 所以

$$P_s = \frac{R_1 + R_2 + R_w C}{6 \times 2.54} = \frac{349.46 + 349.46 + 298 \times 1.532}{6 \times 2.54} = 76\text{N}$$

将上述结果分别代入公式(2)和公式(9)进行计算,其结果见表 5。

表 2 180g/m² 日本瓦楞原纸环压强度的实测结果

序号	横向环压值/N	序号	横向环压值/N
1	318.06	10	305.04
2	310.62	11	303.10
3	281.79	12	301.32
4	286.44	13	286.44
5	294.81	14	307.83
6	294.81	15	294.81
7	290.16	16	287.37
8	292.02	17	281.97
9	306.90	18	311.55
平均值:297.49 最大值:318.06 最小值:281.79			

注:测量时,环境温度 25℃;相对湿度 RH68%。

表 4 杨森纸箱抗压强度的测定结果

序号	抗压强度/N	序号	抗压强度/N
1	4 900	4	4 900
2	4 530	5	4 750
3	4 620	6	4 820
平均值: 4 753			

注:测量时,环境温度 25℃;相对湿度 RH68%。

表 3 300g/m² 加拿大箱板纸环压强度的实测结果

序号	横向环压值/N	序号	横向环压值/N
1	306.9	17	353.4
2	372	18	362.7
3	386.88	19	312.48
4	398.97	20	326.43
5	349.68	21	359.91
6	348.75	22	401.76
7	352.80	23	371.07
8	356.19	24	385.05
9	373.86	25	317.13
10	318.99	26	320.85
11	334.80	27	363.63
12	344.10	28	361.77
13	343.17	29	333.87
14	343.17	30	372.93
15	320.85	31	313.41
16	346.89	32	328.29
平均值:349.46 最大值:401.26 最小值:306.90			

注:测量时,环境温度 25℃;相对湿度 RH68%。

表 5 新老公式计算结果与实测值比较

实测值/N	公式(2)计算值	公式(2)误差	公式(9)计算值	公式(9)误差
4 753	4 508	5.15%	4 708	0.95%

3.2 用“四通纸箱”验证新的凯里卡特公式

四通纸箱为 AB 型五层纸箱,其尺寸规格为 530mm×500mm×390mm,其中里、面纸为 300 g/m² 加拿大箱板纸,环压值的测定结果见表 3;芯纸及瓦楞原纸为 125 g/m² 日本瓦楞原纸,其横向环压值的测定结果见表 6。四通纸箱抗压强度的实测结果见表 7。

已知 $R_1=R_2=349\text{ N}$, $R_3=R_m=R_{m1}143\text{ N}$, 原纸的综合环压强度为:

$$P_r = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_m C + R_{m1} C_1}{15.4} = 82.4\text{ N}$$

将 P_r 代入公式(2)求得 $P=7069\text{ N}$, 将 P_r 代入公式(9)求得 $P=7464\text{ N}$ 。

表 6 125g/m² 瓦楞原纸横向环压值的测定结果

序号	横向环压值/N	序号	横向环压值/N
1	141	11	151
2	149	12	156
3	162	13	164
4	156	14	136
5	162	15	113
6	131	16	129
7	166	17	130
8	154	18	121
9	131	19	119
10	148	20	131
平均值:143 最大值:166 最小值:113			

注:测量时,环境温度 25℃;相对湿度 RH68%。

表 7 四通纸箱实际抗压强度的测定结果

序号	抗压强度/N
1	7 700
2	7 490
3	7 380
4	7 430
5	7 950
平均值 7 590	

注:测量时,环境温度 25℃;相对湿度 RH68%。

用公式(2)计算的误差为:

$$(7590 - 7069)/7590 = 6.86\%$$

用公式(9)计算的误差为:

$$(7590 - 7464)/7590 = 1.66\%$$

3.3 用资料上的数据进行验证

表8为引用日本五十岚清一先生在总结双层瓦楞纸箱的箱形常数 d_{x2} 和纸箱常数 J 时所引用的一组原始数据来验证公式(9)^[1]。用5种纸板制成周长从100cm起,每次增加25.4cm的五个规格纸箱,共25种纸箱。其纵横比控制在1.66。验证结果为:公式(2)的计算结果与实测结果绝对误差的平均值为6.2;公式(9)的计算结果与实测结果绝对误差的平均值为1.65。

表8 新老公式计算结果及与实测结果的误差

瓦楞 纸板 种类	瓦楞纸箱的抗压强度/N									
	周长为 101.6 cm					周长为 127 cm				
	实测值	公式(2)	误差/%	公式(9)	误差/%	实测值	公式(2)	误差/%	公式(9)	误差/%
A	4888.4	4568.2	6.6	4826.0	1.3	5273.3	4921.0	6.6	5198.7	1.4
B	5223.0	5002.0	4.2	5284.3	1.2	5947.7	5388.3	9.4	5692.4	4.3
C	5674.2	5442.5	4.1	5719.7	1.3	6575.8	5862.8	10.8	6193.7	5.8
D	6562.4	6316.9	3.7	6673.4	1.7	7486.8	6804.7	9.1	7188.8	3.9
E	8670.3	8106.2	6.5	8563.7	1.2	9386.8	8732.2	6.9	9225.0	1.7
瓦楞 纸板 种类	周长为 152.4 cm					周长为 177.8 cm				
	实测值	公式(2)	误差/%	公式(9)	误差/%	实测值	公式(2)	误差/%	公式(9)	误差/%
A	5598.5	5229.3	6.6	5524.4	1.3	5846.1	5505.1	5.8	5815.8	0.52
B	6191.8	5725.9	7.5	6049.1	2.3	6397.2	6027.8	5.8	6368.0	0.46
C	6738.0	6230.2	7.5	6581.8	2.3	6987.0	6558.7	6.1	6928.0	0.83
D	7710.0	7231.4	6.2	7639.5	0.9	8213.7	7612.3	7.3	8041.9	2.1
E	9874.8	9279.2	6.0	9802.9	0.7	10350	9768.6	5.6	10320	0.29
瓦楞 纸板 种类	周长为 203.2 cm					公式(2)的计算结果与实测结果绝对误差 的平均值为 6.2。 公式(9)的计算结果与实测结果绝对误差 的平均值为 1.65。				
	实测值	公式(2)	误差/%	公式(9)	误差/%					
A	6170.1	5755.6	6.7	6080.4	1.4					
B	6566.9	6382.2	4.0	6614.8	0.7					
C	7106.8	6857.2	3.5	7244.2	1.9					
D	8266.8	7958.8	3.7	8408.0	1.7					
E	10783	10213	5.2	10789	0.05					

4 结 语

(1) 本文针对沃福公式纵横比对抗压强度的影响曲线及实测值与凯里卡特公式计算结果存在一定误差这一事实,对凯里卡特公式进行了修正。并经实验数据和资料数据验证,修正后的新公式不但计算误差小,而且适用于各种纵横比。

(2) 综合各种因素提出了修正系数,经过验证是合理的。

(3) 对凯里卡特公式使用过程中英制、公制互换而常数不变的作法进行了纠正,并提出了公制条件下的凯里卡特公式常数,经过验证是正确的。

参考文献:

- [1] 五十岚清一,王军.瓦楞纸包装技术[M].北京:中国印刷工业出版社,1988.
- [2] Nokrasov V V. Calculation of box-type constructions[M]. Plenum Publishing Corporation,1987.
- [3] 张洪新,吴云铺.纸制包装容器[M].北京:中国印刷工业出版社,1985.
- [4] 孙诚.中国包装报.1990,248.