

瓦楞纸箱堆码性能分析

张琴, 王保升

(南京工程学院, 南京 211167)

摘要:以平齐堆码的瓦楞纸箱为对象,针对不同的存储周期,研究了堆码时间对瓦楞纸箱堆码强度的影响。运用静载荷堆码试验方法,研究了堆码时间与底层瓦楞纸箱变形量的关系,通过回归分析得到了关系方程,确定了堆码时间较长的纸箱的变形量的预测方法。研究了平齐堆码瓦楞纸箱承载耐久时间与固定载荷的关系,并绘制了其关系曲线,通过回归分析得到了瓦楞纸箱压溃时间的公式。

关键词:瓦楞纸箱;堆码强度;静载荷

中图分类号: TB484.1; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)17-0047-05

Analysis of Stacking Performance of Corrugated Carton

ZHANG Qin, WANG Bao-sheng

(Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: According to different storage period, the effect of stacking time on stacking strength was studied with the object of corrugated carton of plan stacking. Using static load experiment method, the relationship between stacking time and transmutation quantity of corrugated carton in the bottom was studied and the relationship equation was got by regression analysis. The forecast method of transmutation quantity of corrugated carton stacked for long was established. The relationship between load bearing enduring time of corrugated carton and dead load was researched, the relationship curve was drawn, and the break time formula of corrugated carton was obtained by regression analysis.

Key words: corrugated box; stacking strength; static load

商品在流通过程中需要多次仓储保管,为了提高仓储空间利用率,通常会将商品进行堆码。在商品存储过程中需要确保商品安全,要求被堆码在底层的货物不致被压坏变形。运输包装中使用量最大的便是瓦楞纸箱,因而研究瓦楞纸箱的堆码性能是非常必要的。影响纸箱堆码强度的因素主要有:湿度、温度、结构尺寸、负荷作用时间、堆码方式等^[1-6]。笔者针对平齐堆码方式,在湿度、温度稳定的情况下,研究堆码时间对瓦楞纸箱堆码强度的影响。

1 试验

材料:联想电脑商用专供瓦楞纸箱 30 个,型号为启天 M80000(0201 箱);规格为 590 mm×351 mm×

520 mm;毛重 12 kg;最大堆码层数为 8 层。按 GB/T 4857.1^[7]的要求对试验样品瓦楞纸箱各部位进行编号。试验之前,按 GB/T 4857.2^[8]的要求选定一种条件对试验样品进行温湿度预处理,试验应在与预处理相同的温湿度条件下进行。

仪器:长春小型试验机有限公司的 ZXYP 系列电子式控制整箱压缩试验机。其各项技术性能及指标符合 GB 4857.4《包装、运输、包装件压力试验方法》和轻工行业标准 QB/T 1048《纸板及纸箱抗压试验机》等标准的有关规定与要求。

方法:测定底层瓦楞纸箱的变形量,进而研究堆码时间和堆码强度的关系。压缩蠕变试验可测定纸箱在特定加载重量长期加载下产生的变形量,因此,选择静载荷压缩试验方法是比较适合的。

收稿日期: 2011-07-03

基金项目:南京工程学院科研基金资助项目(QKJB2009007)

作者简介:张琴(1979—),女,湖北荆州人,硕士,南京工程学院讲师,主要从事包装工程的教学与研究。

平齐堆码时,将试验样品瓦楞纸箱竖立,直接按预定状态置于水平平面上,再将加载用的包装件组或自由加载平板或导向加载平板置于试验样品的顶面中心位置。载荷应保持预定的持续时间或至包装件压坏。试验期间按预定的测试方案记录试验样品的变形量,必要时,也可以随时对试验样品的变形情况进行测定。

2 结果与分析

2.1 堆码时间与变形量关系

2.1.1 0.82 kN 静载荷下的平齐堆码试验

试验结果见表 1,0.82 kN 载荷下纸箱变形随时间的变化曲线见图 1。

表 1 0.82 kN 静载荷下瓦楞纸箱堆码时间与变形量的实验值

Tab. 1 Stacking time and experiment value of transmutation quantity with 0.82 kN static load

时间 /h	变形量 /mm	时间 /h	变形量 /mm	时间 /h	变形量 /mm
0	0	0.350	3.627	0.683	4.217
0.050	2.058	0.383	3.772	0.717	3.301
0.083	2.731	0.417	3.798	0.750	4.531
0.117	2.868	0.450	3.856	0.783	5.865
0.150	3.002	0.483	3.914	0.813	5.271
0.183	3.129	0.517	3.937	0.850	5.883
0.217	3.225	0.550	3.978	0.883	6.413
0.250	3.342	0.583	4.036	0.917	7.198
0.283	3.439	0.617	4.117		
0.317	3.501	0.650	4.186		

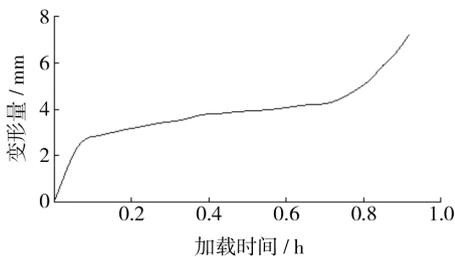


图 1 0.82 kN 载荷下瓦楞纸箱堆码时间与纸箱变形量的关系

Fig. 1 The relationship curve between stacking time and transmutation quantity with 0.82 kN static load

对瓦楞纸箱施加 0.82 kN 固定载荷,到压损为止的变形量分为 3 个阶段:短时间内急速变形的初期变形阶段(0~0.083 h);以一定速度长时期持续变形的

稳定变形阶段(0.083~0.813 h);受压破损的急速压损阶段(0.813 h 之后)。这也反映出了瓦楞纸箱堆码变形的一般规律。

对瓦楞纸箱进行抗压试验,测得瓦楞纸箱中最大的抗压强度为 0.836 6 kN,最大的变形量为 6.335 7 mm。根据表 1,瓦楞纸箱在加载时间为 0.883 h 时,瓦楞纸箱的变形量达到 6.413 mm,此时瓦楞纸箱的堆码强度达到压溃点的位置,因此瓦楞纸箱在 0.82 kN 的静载荷之下,压溃所用的时间为 0.883 h。

堆码时间与变形量的曲线关系复杂,在堆码时间极限内连续、单调递增,在线弹性阶段呈比例递增,在屈服阶段堆码变形量随堆码时间缓慢增加,而在压溃阶段应力随应变急剧上升。该曲线可分为线性部分和复杂的非线性部分,采用一些数学函数的组合形式,如一次函数描述应力随应变的线性变化,正切函数反映应变较大时应力急剧上升的特点,而双曲正切函数和平方根项都可反映堆码纸箱变形量随堆码时间缓慢增加特性。

由图 1 可得,该曲线满足 5 次多项式,因此,设该曲线的回归分析曲线方程为:

$$y = Ax^5 + Bx^4 + Cx^3 + Dx^2 + Ex + F \quad (1)$$

式中: y 为变形量(mm); x 为堆码时间(h); A, B, C, D, E, F 为系数。利用表 1 数据,回归分析得:

$$A = 205.28, B = -481.85, C = 434.77, D = -185.5, E = 38.745, F = 0.2533$$

所以图 1 的回归分析曲线方程为:

$$y = 205.28x^5 - 481.85x^4 + 434.77x^3 - 185.5x^2 + 38.745x + 0.2533$$

2.1.2 0.75 kN 静载荷下的平齐堆码试验

根据试验结果(见表 2),0.75 kN 载荷下纸箱变形随时间的变化曲线见图 2。

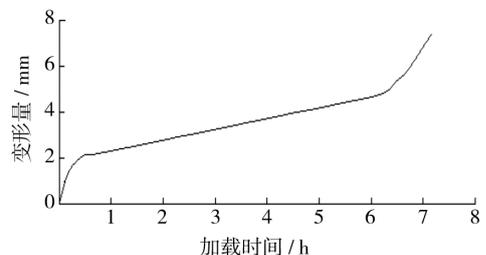


图 2 0.75 kN 载荷下瓦楞纸箱堆码时间与纸箱变形量的关系

Fig. 2 The relationship curve between stacking time and transmutation quantity with 0.75 kN static load

表 2 0.75 kN 静载荷下瓦楞纸箱堆码时间与变形量的实验值

时间 /h	变形量 /mm	时间 /h	变形量 /mm	时间 /h	变形量 /mm
0	0	2.500	3.027	5.000	4.194
0.167	1.324	2.667	3.105	5.167	4.276
0.333	1.876	2.833	3.187	5.333	4.371
0.500	2.156	3.000	3.265	5.500	4.441
0.667	2.178	3.167	3.342	5.667	4.518
0.833	2.256	3.333	3.421	5.833	4.593
1.000	2.331	3.500	3.508	6.000	4.672
1.167	2.407	3.667	3.586	6.167	4.785
1.333	2.483	3.833	3.663	6.333	4.981
1.500	2.561	4.000	3.739	6.500	5.395
1.667	2.639	4.167	3.818	6.667	5.732
1.833	2.715	4.333	3.901	6.833	6.278
2.000	2.801	4.500	3.983	7.000	6.874
2.167	2.876	4.667	4.057	7.167	7.431
2.333	2.965	4.833	4.116		

根据表 2,瓦楞纸箱在加载时间为 7 h 时,瓦楞纸箱的变形量达到 6.874 mm,此时瓦楞纸箱的堆码强度达到压溃点的位置,因此瓦楞纸箱在 0.75 kN 的静载荷压力之下,压溃所用的时间为 7 h。变形与堆码时间的函数关系为:

$$y=0.008x^5-0.146x^4+0.954x^3-2.752x^2+3.915x+0.489$$

2.1.3 0.71 kN 静载荷下的平齐堆码试验

根据试验结果(见表 3),0.71 kN 载荷下纸箱变形

表 3 0.71 kN 静载荷下瓦楞纸箱堆码时间与变形量的实验值
Tab.3 Stacking time and experiment value of transmutation quantity with 0.71kN static load

时间 /h	变形量 /mm	时间 /h	变形量 /mm	时间 /h	变形量 /mm
0	0	13	3.092	26	4.226
1	1.574	14	3.175	27	4.315
2	1.988	15	3.263	28	4.402
3	2.193	16	3.348	29	4.493
4	2.295	17	3.434	30	4.675
5	2.383	18	3.519	31	4.664
6	2.475	19	3.608	32	4.753
7	2.563	20	3.706	33	4.923
8	2.656	21	3.791	34	5.406
9	2.749	22	3.866	35	5.931
10	2.836	23	3.961	36	6.535
11	2.921	24	4.053	37	7.212
12	3.003	25	4.141		

形随时间的变化曲线见图 3。

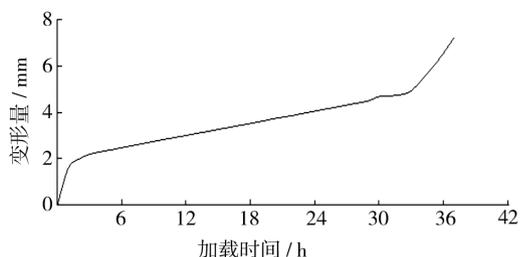


图 3 0.71 kN 载荷下瓦楞纸箱堆码时间与纸箱变形量的关系

Fig. 3 The relationship curve between stacking time and transmutation quantity with 0.71 kN static load

根据表 3,瓦楞纸箱在加载时间为 36 h 时,瓦楞纸箱的变形量达到 6.535 mm,此时瓦楞纸箱的堆码强度达到压溃点的位置,因此瓦楞纸箱在 0.71 kN 的静载荷压力之下,压溃所用的时间为 36 h。变形与堆码时间的函数关系为:

$$y=2.3 \times 10^{-6} x^5-0.0002 x^4+0.0071 x^3-0.1079 x^2+0.7954 x+0.4684$$

2.1.4 0.67 kN 静载荷下的平齐堆码试验

根据试验结果见表 4,0.67 kN 载荷下纸箱变形

表 4 0.67 kN 下静载荷瓦楞纸箱堆码时间与变形量的实验值
Tab.4 Stacking time and experiment value of transmutation quantity with 0.67 kN static load

时间 /h	变形量 /mm	时间 /h	变形量 /mm	时间 /h	变形量 /mm
0	0	26	3.219	52	4.412
2	1.482	28	3.308	54	4.497
4	1.937	30	3.399	56	4.591
6	2.315	32	3.492	58	4.678
8	2.408	34	3.585	60	4.772
10	2.493	36	3.674	62	4.866
12	2.581	38	3.770	64	4.953
14	2.667	40	3.862	66	5.241
16	2.764	42	3.956	68	5.727
18	2.853	44	4.048	70	6.481
20	2.942	46	4.140	72	7.336
22	3.031	48	4.231		
24	3.126	50	4.323		

随时间的变化曲线见图 4。

根据表 4,瓦楞纸箱在加载时间为 70 h 时,瓦楞纸箱的变形量达到 6.481 mm,此时瓦楞纸箱的堆码强度达到压溃点的位置,因此瓦楞纸箱在 0.67 kN 的

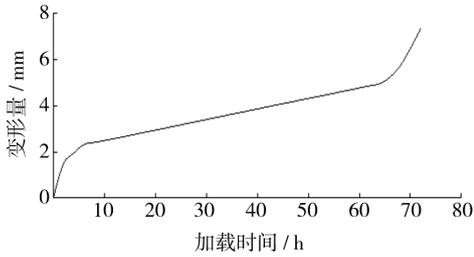


图4 0.67 kN 载荷下瓦楞纸箱堆码时间与纸箱变形量的关系曲线

Fig. 4 The relationship curve between stacking time and transmutation quantity with 0.67 kN static load

静载荷压力之下,压溃所用的时间为 70 h。变形与堆码时间的函数关系为:

$$y = 9.2 \times 10^{-8} x^5 - 1.6 \times 10^{-5} x^4 + 0.0011 x^3 - 0.032 x^2 + 0.452 x + 0.3668$$

2.2 堆码时间与变形量的预测

2.2.1 0.63 kN 静载荷下的平齐堆码试验

由于在 0.63 kN 静载荷堆码试验持续时间较长,无法完全的进行试验,但根据在试验载荷 0.82, 0.75, 0.71, 0.67 kN 中,发现堆码试验中时间与变形量关系满足 5 阶多项式的回归曲线方程。因此,在 0.63 kN 的载荷下堆码时间所测得表 5 中 72 h 之前的数据,代入回归曲线方程(1)中,得出回归曲线方程为:

$$y = 1.6 \times 10^{-10} x^5 - 9.8 \times 10^{-8} x^4 + 2.3 \times 10^{-5} x^3 + 0.0023 x^2 + 0.1196 x + 0.350$$

根据以上得出的回归曲线方程,代入堆码的时间,从而求出相应的变形量,见表 5。

表 5 0.63 kN 静载荷下瓦楞纸箱堆码时间与变形量的实验值

Tab.5 Stacking time and experiment value of transmutation quantity with 0.63 kN static load

时间 /h	变形量 /mm	时间 /h	变形量 /mm	时间 /h	变形量 /mm
0	0	80	3.038	168	4.279
5	0.864	88	3.146	176	4.398
8	1.573	96	3.258	184	4.512
16	1.965	104	3.376	192	4.619
24	2.227	112	3.491	200	4.732
32	2.341	120	3.602	208	4.849
40	2.459	128	3.713	216	4.987
48	2.578	136	3.826	224	5.452
56	2.689	144	3.941	232	5.934
64	2.799	152	4.057	240	6.547
72	2.913	160	4.168	248	7.321

化曲线见图 5。

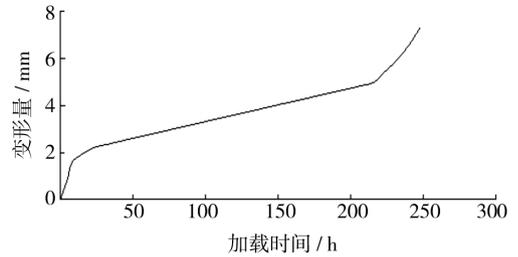


图 5 0.63 kN 载荷下瓦楞纸箱堆码时间与纸箱变形量的关系

Fig. 5 The relationship curve between stacking time and transmutation quantity with 0.63 kN static load

根据表 5 中,瓦楞纸箱在加载时间为 240 h 时,瓦楞纸箱的变形量达到 6.547 mm,此时瓦楞纸箱的堆码强度达到压溃点的位置,因此瓦楞纸箱在 0.63 kN 的静载荷压力之下,压溃所用的时间为 240 h。

2.2.2 静载荷 0.59 kN 下的平齐堆码试验

由于在 0.59 kN 静载荷下堆码试验持续时间很长,无法完整的进行试验,但根据经验其应满足 5 阶多项式的回归曲线方程。因此,在 0.59 kN 的载荷下堆码时间 120 h 之前的数据代入回归曲线方程(1)中,得出回归曲线方程为:

$$y = 1.0 \times 10^{-11} x^5 - 1.1 \times 10^{-8} x^4 + 4.5 \times 10^{-6} x^3 - 0.0008 x^2 + 0.074 x + 0.4085$$

根据以上得出的回归曲线方程,代入堆码的时间,从而求出相应的变形量,见表 6。

表 6 静载荷 0.59 kN 下堆码时间与变形量的实验值

Tab.6 Stacking time and experiment value of transmutation quantity with 0.59 kN static load

时间 /h	变形量 /mm	时间 /h	变形量 /mm	时间 /h	变形量 /mm
0	0	150	3.246	300	4.311
15	1.838	165	3.351	315	4.422
30	2.201	180	3.459	330	4.526
45	2.456	195	3.567	345	4.627
60	2.596	210	3.674	360	4.735
75	2.713	225	3.785	375	4.841
90	2.822	240	3.893	390	5.342
105	2.931	255	3.994	405	5.974
120	3.034	270	4.097	420	6.631
135	3.143	285	4.205	435	7.312

根据表 6,0.59 kN 载荷下纸箱变形随时间的变化曲线见图 6。

根据表 6,瓦楞纸箱在加载时间为 420 h 时,变形

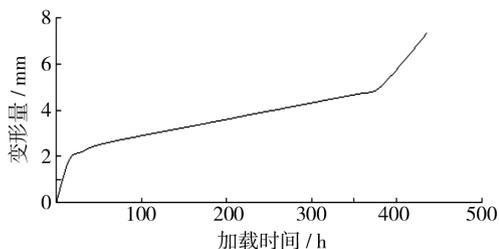


图6 0.59 kN 载荷下瓦楞纸箱堆码时间与纸箱变形量的关系

Fig. 6 The relationship curve between stacking time and transmutation quantity with 0.59 kN static load

量达到 6.631 mm, 此时的堆码强度达到压溃点的位置, 因此瓦楞纸箱在 0.59 kN 的静载荷压力之下, 压溃所用的时间为 420 h。

2.3 平齐堆码瓦楞纸箱承载耐久时间与固定载荷的关系

瓦楞纸箱在平齐堆码下承载耐久时间与固定载荷的关系见表 7 和图 7。

表 7 瓦楞纸箱承载耐久时间与固定载荷的关系

Tab.7 The relationship between load bearing enduring time of corrugated carton and dead load

时间 /h	静态压缩载荷 的比例/%	时间 /h	静态压缩载荷 的比例/%
0.89	98.0	70	80.1
7	89.6	240	75.3
36	84.9	420	70.5

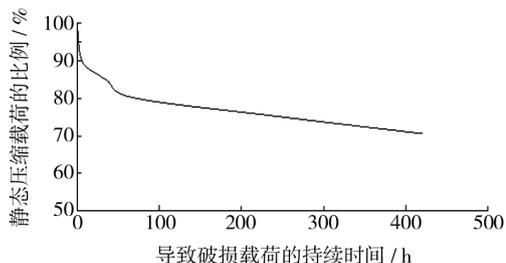


图 7 瓦楞纸箱承载耐久时间与固定载荷的关系

Fig. 7 The relationship curve between load bearing enduring time of corrugated carton and dead load

通过瓦楞纸箱在上述 6 种堆码情况的模拟试验, 得出的总体规律是: 在堆码层数一定的情况下, 纸箱产生的整体变形随时间的增加而增加, 且“时间-变形历程曲线”有一个明显的特征, 即: 在纸箱“压溃点”以前, 纸箱的变形量随时间增加而逐渐增加; 在过“压溃点”后, 纸箱的变形量迅速增加, 由于产生这种迅速增加的变形所需时间很短, 就会造成纸箱迅速失去应有的工作性能。因此, 本堆码试验利用统计处

理的方法得到纸箱在不同工况下的“压溃点”位置, 测定纸箱堆码中产生变形的大小和可堆码时间。

分析破损载荷的持续时间与静态压缩载荷的比例曲线, 可以得出瓦楞纸箱堆码的几点结论。

1) 瓦楞纸箱承耐久时间与固定载荷的关系曲线, 开口向上, 呈凹谷状, 只有一个极点, 这和瓦楞纸板的缓冲特性相类似。

2) 随着堆码载荷的比例不断下降, 导致破损载荷的持续时间一直增加, 数值变化的加速度在降低, 曲线往凹谷的右下方偏移。

3) 当静载压缩载荷的比例到达 80% 以下时, 瓦楞纸箱承耐久时间与固定载荷的关系曲线, 基本就成了比较简单的线性关系。

4) 根据图 7 发现, 其符合对数函数的回归线性方程。并代入数据求出函数关系为:

$$y = -4.285 \ln(x + 98.214)$$

式中: x 为导致破损载荷的持续时间(h); y 为静态压缩的载荷比例(%)。

由上面公式, 可以大致求出每个静态载荷数值下瓦楞纸箱压溃的时间。

3 结语

瓦楞纸箱在堆码时, 其抗压强度的劣化率是按照一定的规律降低的。平齐堆码下的瓦楞纸箱, 导致破损载荷的持续时间比较长, 堆码纸箱可以在较长时间内保证产品的安全性。

参考文献:

- [1] 杨传民, 孟宪文. 温湿度及纸箱尺寸对堆码强度影响的实验研究[J]. 包装工程, 2009, 30(8): 1-3.
- [2] 滑逛军, 赵德坚. 大长宽比对纸箱抗压能力影响的研究与分析[J]. 包装工程, 2010, 31(21): 45-47.
- [3] 鄢腊梅, 廖梓庭. 瓦楞纸箱堆垛失稳的理论研究[J]. 中国包装工业, 2000, 10(9): 24-27.
- [4] 刘慧, 张新昌. 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.
- [5] 郭术娣. 瓦楞纸箱的尺寸比与抗压强度关系的研究[J]. 物流科技, 2009, 32(6): 42-45.
- [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.
- [7] GB/T 4857.1, 包装运输包装件实验时各部位的表示方法[S].
- [8] GB/T 4857.2, 包装运输包装件温湿度调节处理[S].