

局部以纸代木包装箱的研究

丁毅, 赵丽娟

(陕西科技大学, 西安 710021)

摘要: 为缓解木材的供需矛盾, 提出了局部以纸代木包装箱的概念。对比了全胶合板包装箱和局部以纸代木包装箱的结构, 对局部以纸代木包装箱的力学性能进行了分析。结果表明, 在满足应用条件的情况下, 局部以纸代木包装箱比全胶合板包装箱更经济实用, 具有更广泛的应用潜力。

关键词: 胶合板包装箱; 局部以纸代木包装箱; 力学性能; 包装箱结构

中图分类号: TB485.3; TB484.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)13-0021-04

Research on Partial Paper Wood Packing Case

DING Yi, ZHAO Li-juan

(Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: In order to relieve the contradiction between supply and demand of wood, a conception to substitute paper for wood partially was put forward. The structure of plywood package cases was compared with that of partial paper wood packing cases, and the mechanical property of them was analyzed. It was concluded that the partial paper wood packing cases are more economical and functional, and with more extensive application potential.

Key words: plywood packing case; partial paper wood packing case; mechanical property; structure of packing case

我国虽然是木材生产大国, 但也是木材消费大国。近年来, 国内可供木材严重不足, 但需求量越来越大。木箱是机电产品包装所必不可少的, 为进一步节省木材, 笔者主要分析了局部以纸代木包装箱的结构特性, 从而得出在满足应用的情况下该包装箱能节省大量木材, 更具有环保性^[1]。

以纸代木包装箱是指外箱板采用抗戳穿能力较强的木质单板、纤维板或三合板^[2]; 内部采用蜂窝纸板和多层胶合板复合的结构, 与外箱板粘合在一起; 边角用优质纸护角固定, 达到了既节省了材料, 又保持了包装箱的力学性能, 可替代木箱使用。

1 局部以纸代木包装箱模型的确定

以某公司生产的质量为 60~70 kg 的产品为例, 对其原始的全木包装箱进行改进, 换之用局部以纸代木包装箱, 为了确保该包装箱的使用, 计算时取产品的质量为 100 kg。该包装箱的外尺寸为 $L \times B \times H = 600 \text{ mm} \times 530 \text{ mm} \times 495 \text{ mm}$, 其中, 外箱板用厚度为

2 mm 的木质单板, 箱体中用厚度为 18 mm 的胶合板, 且蜂窝纸板的厚度也为 18 mm; 箱顶用厚度为 15 mm 的胶合板, 且蜂窝纸板的厚度也为 15 mm。包装箱的三视图、箱盖图以及立体简图见图 1—3。

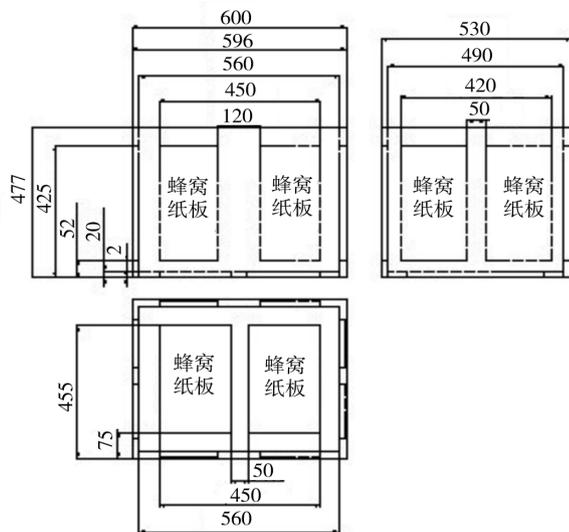


图 1 包装箱三视图

Fig. 1 Triple-view of packing cases

收稿日期: 2011-05-04

作者简介: 丁毅(1953—), 男, 山东日照人, 陕西科技大学教授, 主要研究方向为包装工艺及数字包装。

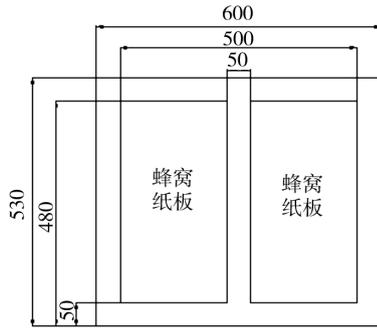


图2 包装箱的箱盖

Fig. 2 Packing cases' cover

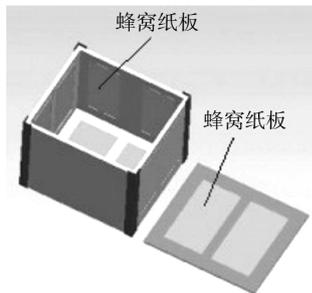


图3 包装箱立体效果

Fig. 3 3D drawing of packing case

2 包装箱底板的力学分析

木质材料与纸板复合后,除平压强度有所降低外,其余力学强度较原纸板大大增强。该包装箱底板只有中间2部分是用纸木复合材料做成的,其余部分为胶合板,因此主要受力构件是胶合板,而不是纸木复合部分,纸木复合部分的作用主要起到节省材料的作用,见图4。检验箱底胶合板的受力情况^[3],底板受力见图5。

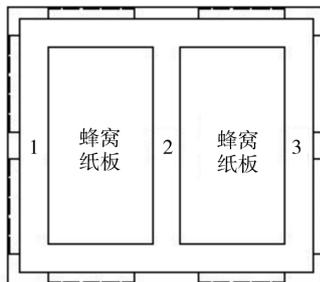


图4 箱体底面结构

Fig. 4 Box bottom structure

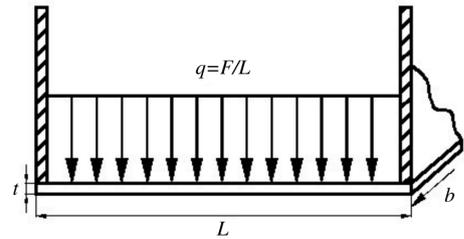


图5 底板受力分析

Fig. 5 Force analysis of baseplate

由于箱底受力部分主要是胶合板,所以经分析可知,在最大冲击力下底板的均布载荷集度为 $q = F/L$, 其中 L 为箱底受力的胶合板的长度。

中点处所能承受的弯矩最大,最大为:

$$M_{\max} = qL^2/8$$

抗弯截面模量为:

$$W_z = bh^2/6$$

弯曲正应力强度条件为:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z} < [\sigma]$$

由以上公式可得:

$$\sigma_{\max} = \frac{FL^2}{8AW_z}$$

所承受的最大压力为产品自身的重力,即:

$$F = W = mg$$

由图4可知,包装物重量对箱底的弯曲应力的危险截面为截面1,2,3处。因为截面1和3尺寸相同,所以:

$$W_{z1} = W_{z3} = \frac{5.5 \times 2^2}{6} = 3.67 \text{ cm}^3$$

$$\text{截面2: } W_{z2} = \frac{5 \times 2^2}{6} = 3.33 \text{ cm}^3$$

因为 $W_{z1} = W_{z3} > W_{z2}$,截面的抗弯和抗扭强度与相应的截面系数成正比,所以计算时只需校核图中截面2即可,计算得到:

$$\sigma_{\max2} = \frac{M_{\max}}{W_{z2}} = \frac{FL}{8W_{z2}} = 1.4248 \text{ MPa} < [\sigma]$$

其中: σ_{\max} 为木材所承受的最大弯曲正应力; $[\sigma]$ 为木材的许用弯曲应力,通常选取为 12 MPa。

因此,底板满足该产品的应用要求。

3 包装箱堆码强度校核

堆码时,上层包装箱和包装件的总重量对下层包

装箱产生的作用力,主要由箱顶盖和包装箱体承受,但无论箱顶还是箱体,其受力主要由纯胶合板部分承担^[4]。

3.1 堆码层数的计算

商品在仓库内的保管费用,取决于商品在仓库内的占地面积,所以为了尽可能减少商品的占地面积,应该充分利用仓库的最大空间高度来堆码,因此,包装箱结构就要具有一定的强度,所以最大堆码层数也决定了包装箱必要的强度^[5]。

假设流通过程中,采用托盘堆码形式,托盘包装最大高度为 1.5 m,托盘高度为 100 mm。流通过程中采用汽车运输,汽车的堆码高限为 2.5 m,即 $H_w = 2500$ mm, $h_{\max} = 1500$ mm, $T = 100$ mm (H_w 为流通过程中最大有效堆码高度; h_{\max} 为托盘包装的最大高度; T 为托盘厚度)。

$$n_{\max} = \text{INT} \left[\frac{h_{\max} - T}{H_0} \right] = 2, n_{\min} = \text{INT} \left[\frac{H_w}{h_{\max}} \right] = 1$$

$$N'_{\max} = \text{INT} \left[\frac{H_w - n_{\min} T}{H_0} \right] = 4$$

$$n = \text{INT} [N'_{\max} / n_{\max}] = 2$$

$N = n_{\max} n = 4$, 因为 $N = N'_{\max}$, 所以 $N_{\max} = 4, n_{\max} = 2$ 。

其中: H_0 为单个包装箱的高度; n_{\max} 为单个托盘包装中最大包装箱堆码层数; n_{\min} 流通过程中最大有效堆码高度下可堆码最少的托盘包装的层数; N'_{\max} 仓储中包装箱可能的最大堆码层数; n 仓储堆码可能的托盘包装层数; N 可以考虑的堆码层数。

堆码高度校核:

$$2 \times 495 + 10 = 1090 < 1500 (h_{\max})$$

$$4 \times 495 + 2 \times 100 = 2180 < 2500 (H_w)$$

因此,选择该堆码方式满足堆码要求。

3.2 箱顶盖的堆码强度校核

上层包装箱和包装件的重量对下层包装箱的压力可以看做为均布载荷来计算,则: $q = F/L$ (L 为受力胶合板的长度)。箱盖简图见图 6, 其中危险截面为 1, 2, 3, 因为 3 个截面的面积相同, 以截面 2 为例计算出该截面所能承受的最大重量即可, 木材的许用弯曲应力为:

$$[\sigma] = 12 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{FL^2}{8LW_z} = \frac{FL}{8W_z} \leq [\sigma]$$

$$F = W \leq \frac{8[\sigma]W_z}{L} = 1075.35 \text{ N}$$

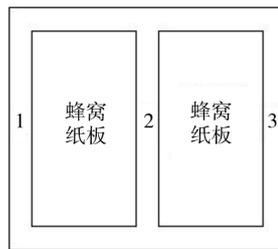


图 6 箱盖结构

Fig. 6 Structure of packing case's cover

即箱顶盖所能承受的最大质量为 109.7 kg。

因为蜂窝纸板密度相对较小, 计算总质量时忽略不计, 胶合板所用材料为杨木, 取胶合板密度为 530 kg/m^3 , 即每个包装箱的总质量为: $m = 8.82 \text{ kg}$ 。所以, 包装箱加上包装件的总质量为 108.82 kg , 该箱顶所能承受的最大质量满足使用要求。

3.3 箱体堆码强度校核

以包装箱的一个端面为例, 对箱体的堆码强度进行校核。箱体的端面简图见图 7, 其中: 1, 2, 3 处相当

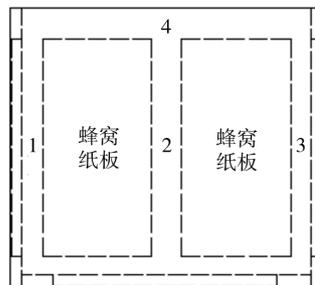


图 7 箱体的端面结构

Fig. 7 Structure of packing case's end

于包装箱的“立柱”, 承受压应力: 1, 3 处横截面积较小, 更易弯曲; 4 处相当于“横梁”, 承受弯曲应力。以下分别对其进行校核。

3.3.1 压应力分析

可以将立柱看作是承受轴向压力的压杆模型, 现以微弯平衡构型作为其临界状态特征, 确定其临界载荷。在内应力不超过材料的比例极限时, 根据小挠度挠曲轴的近似微分方程, 受压立柱的挠曲轴方程 $\omega = \omega(x)$ 应满足:

$$\frac{d^2 \omega}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI} \quad (1)$$

任意一段压杆的弯矩方程为:

$$M(x) = -F\omega \quad (2)$$

将式(2)代入式(1),得到:

$$\frac{d^2\omega}{dx^2} + k^2\omega = 0 \quad (3)$$

$$\text{式中: } k^2 = \frac{F}{EI}$$

二阶常微分方程(3)的通解为:

$$\omega = A\sin kx + B\cos kx \quad (4)$$

根据位移边界条件: $\omega(0) = 0, \omega(l) = 0$, 代入式(4)得到 $B = 0, A\sin kl = 0$, 由于立柱处于微弯状态, A 和 B 不全为 0, 则应有 $\sin kl = 0$, 即 $kl = n\pi$ ($n = 0, 1, 2, \dots$)。

所以得到立柱在微弯状态下保持平衡的最小轴向压力:

$$F_{cr} = \frac{n^2\pi^2 EI}{l^2} (n = 0, 1, 2, \dots)$$

取 $n = 1$, 得到立柱的临界载荷为:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} = \frac{\pi^2 E}{l^2} \cdot \frac{hb^3}{12} = 1.4 \times 10^4 \text{ N}$$

支柱的临界应力为:

$$\sigma_{cr} = \frac{F_{cr}}{A} = 20 \text{ MPa}$$

由于支柱承受的最大压力:

$$F = mg = 86.436 \text{ N} < F_{st} = \frac{F_{cr}}{n_{st}} = 7 \times 10^3 \text{ N}$$

式中: F_{st} 为稳定许用压力; n_{st} 为稳定安全因数, 这里取 $n_{st} = 2$ 。

支柱的工作应力也远小于其许用应力, 所以该包装箱满足抗压要求^[3]。

3.3.2 弯曲应力分析

弯曲应力需满足条件:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z} = \frac{ql^2}{8W_z} = \frac{Fl}{8W_z} \leq [\sigma]$$

$$\text{即: } F \leq 8[\sigma]W_z / l = 4.3 \times 10^3 \text{ N}$$

由于该横梁承受的最大压力为:

$$F' = mg = 8.82 \times 9.8 = 86.436 \text{ N} < 4.3 \times 10^3 \text{ N}$$

即该包装箱端板处的横梁部分也能够满足应用要求^[3]。因此, 根据最大堆码层数的计算和各部分强度的校核, 确定堆码形式为: 采用单层托盘堆码, 托盘上的包装箱堆码层数为 2 层, 采用此种堆码形式, 既符合汽车的堆码高限, 又不会因为应力太大, 造成包装箱的破损, 满足应用的需要。

4 局部以纸代木包装箱的经济性分析

在经过力学分析之后, 该局部以纸代木包装箱基本符合条件, 下面对其进行经济性分析。

若该包装箱全用胶合板做成, 所用胶合板体积为:

$$V = 2V_{\text{侧}} + 2V_{\text{端}} + V_{\text{底}} + V_{\text{顶}} = 0.032 \text{ m}^3$$

若该包装箱部分用蜂窝纸板代替, 所用蜂窝纸板的面积为:

$$S = 2S_{\text{侧}} + 2S_{\text{端}} + S_{\text{底}} + S_{\text{盖}} = 0.8677 \text{ m}^2$$

用蜂窝纸板代替胶合板以后, 所用胶合板的体积为:

$$V' = 2V'_{\text{侧}} + 2V'_{\text{端}} + V'_{\text{底}} + V'_{\text{顶}} = 0.01665 \text{ m}^3$$

很容易得出局部用蜂窝纸板代替后, 每个包装箱可节省木材 0.01535 m^3 。

5 结论

通过对全用胶合板做成的包装箱和局部以纸代木包装箱的结构对比, 以及对局部以纸代木包装箱的各部分的强度校核, 得出在满足各方面应用需要的情况下, 局部以纸代木包装箱能大量节省木材, 起到环保的目的, 更具有经济性, 是一种可以被广泛应用在产品包装上的实用包装箱。

参考文献:

- [1] 吴若梅, 李敏, 梁军. 环保型包装材料整体包装设计及其性能探讨[J]. 包装工程, 2006, 27(4): 92-94.
- [2] 张方文, 于文吉. 木质包装材料的发展现状和前景展望[J]. 包装工程, 2007, 28(2): 27-28.
- [3] 张功学, 侯东生. 材料力学[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008.
- [4] 孙诚. 包装结构设计[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008.
- [5] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2006.