

蜂窝纸板在空投包装中的应用

刘胜祥¹, 王兴业², 徐丽丽³, 鞠苏², 孙伟³

(1.湖南华望科技股份有限公司, 长沙 410215; 2.国防科技大学, 长沙 410016;

3.空军空降兵学院, 桂林 541003)

摘要: **目的** 研究蜂窝纸板在空投包装中的应用, 构建军品绿色包装。**方法** 通过研究蜂窝纸板的性能, 并与瓦楞纸板进行比较, 来分析蜂窝纸板在空投包装领域的应用效果及前景。**结果** 蜂窝纸板密度小、抗弯刚度大、平压强度高、侧压强度高、缓冲性能好, 是低碳可再生的绿色包装材料, 可应用于空投平台、无伞空投物资、特殊包装等方面。**结论** 蜂窝纸板可作为空投包装材料。

关键词: 蜂窝纸板; 低碳环保; 空投包装

中图分类号: TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)17-0025-05

Application of Honeycomb Paperboard in the Packaging of Airdrop

LIU Sheng-xiang¹, WANG Xing-ye², XU Li-li³, JU Su², SUN Wei³

(1.Hunan Huawang Technology Co., Ltd., Changsha 410215, China; 2.National University of Defense Technology, Changsha 410016, China; 3.Airforce Airborne Academy, Guilin 541003, China)

ABSTRACT: It aims to study the application of honeycomb paperboard in airdrop packaging and create green packaging for military products. The application effect and prospects of honeycomb paperboard in airdrop packaging field were analyzed by studying the performance of honeycomb paperboard and comparing with corrugated board. With the features of small density, large flexural stiffness, high flat pressure strength, high edgewise compressive strength, good cushioning performance, honeycomb paperboard was a kind of low-carbon renewable green packaging material which could be applied to airdrop platform, airdrop of supplies without parachute and special packaging. In conclusion, honeycomb paperboard can be absolutely used as the airdrop packaging material.

KEY WORDS: honeycomb paperboard; low-carbon and environmental friendly; airdrop packaging

武器装备从生产地到战士手中, 与所有商品一样要经过生产下线、库房存储和多次转运。这期间有通过铲车的厂内搬运、汽车的公路运输、火车的铁路运输以及空运和水运, 甚至需要人工搬运, 翻山越岭到达前沿阵地。通常储运中最易因跌落、冲击和振动等收到损伤, 因此保障武器装备性能最直接的措施就是给包装箱加上缓冲衬垫。根据现代化战争的特点, 空投包装的要求有储存多元化、装备机械化、运输集装化、标准化和信息化等, 除了包

装箱外要有托盘或托箱作为单元载体, 即包装系列的构件是包装箱、衬垫、托盘(箱)。

传统空投包装材料是木(竹)、纸、塑料等, 用这些材料制成箱、垫、盘并对产品进行包装。包装所用的材料种类多、数量大, 不仅造成资源过度消耗, 还会引发环境污染^[1], 因此绿色包装成为当今包装界的主流方式。20 世纪 90 年代中期, 我国的包装行业开发了蜂窝纸板这一新型材料, 它既是绿色环保型材料, 也是可再生的资源节约型材料,

已在民品包装的包装箱、托盘、衬垫等方面不断扩大应用^[2]。国家为推广这种材料颁布了《蜂窝纸板包装材料》、《纸基平托盘》、《蜂窝纸板箱》等标准,军队也颁布了《蜂窝纸板技术规范》^[3]。以蜂窝纸板作为包装材料的绿色包装已在包装行业中不断展开,文中就蜂窝纸板在空投包装领域的应用进行探讨。

1 蜂窝纸板的性能

1.1 密度小

用于制造包装箱和托盘的蜂窝纸板(厚度为1030 mm,蜂窝芯边长为6~10 mm)密度为0.6~0.8 g/cm³,不到杉木的1/5,松木的1/6,更远远轻于塑料、铝合金等材料^[4]。同样是绿色包装材料的瓦楞纸,在相同的使用功能下,蜂窝纸板比瓦楞纸板要轻30%~40%。

1.2 抗弯刚度大

蜂窝纸板的结构原理与工程上常用的工字梁一样,是把抗弯能力强的构件远离形心,用性能较好的牛卡纸做成板,用一般的高瓦纸作为芯材,把面板撑起来,达到用料少、抗弯刚度大的目的^[5]。反映蜂窝纸板抗弯刚度性能的参量为抗弯刚度 D :

$$D = \frac{E_f(h_c + d_f)^2}{2(1 - \nu_f^2)} \quad (1)$$

式中: D 为蜂窝纸板抗弯刚度; E_f 为面板纸材的弹性模量; d_f 为面板纸的厚度; h_c 为蜂窝芯的高度; ν_f 为面板纸材的泊松比。

由于蜂窝纸板是用相当高的蜂芯把弹性模量较大的面板撑起来,式(1)表明刚度与抗弯芯高呈二次方关系^[6]。实际应用表明,以面密度为320 g/m²的牛卡纸作为面板,厚度为30 mm的蜂窝纸板的抗弯能力与12 mm厚的松木板相当,因此蜂窝纸板可代替木材用作托盘的铺板。

1.3 平压强度高

BB/T 0016和GJB 3938规定了用于制造包装箱托盘的蜂窝纸板(厚度为10~30 mm,蜂窝芯边长为6~8 mm)的平压强度为300~350 kPa。这仅是对合格产品规定的下限,实际应用中所有产品平压强度均须高于这个标准值。由于蜂窝纸板的纸芯

是连续的正方形,具有较强的抗屈曲能力,受压不易失稳变形^[7],因此蜂窝纸板抗平压强度高。

1.4 侧压强度高

侧压载荷是使纸板失效的另一种形式,工程上称为失稳或屈曲^[7]。侧压载荷下纸板失稳的2种形式见图1。

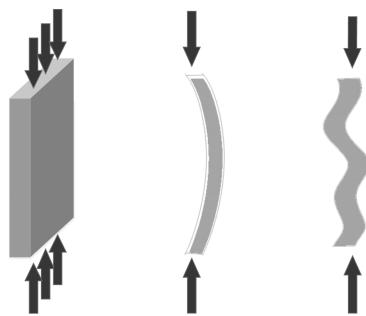


图1 侧压载荷纸板屈曲

Fig.1 The side compression loading paperboard buckling

用来计算蜂窝纸板侧压屈曲强度(临界载荷)的公式如下:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 D}{l^2} \cdot \frac{1}{K_c} \quad (2)$$

式中: N_{cr} 为侧压强度; D 为蜂窝纸板的抗弯刚度; l 为板受压方向的长度; K_c 为蜂窝纸板的材料系数。

通常所用的蜂窝纸板抗弯刚度较大,因此有较高的临界载荷。对所用材料、质量以及式样尺寸规模大小相同的蜂窝纸板和A/A/A型重型瓦楞板进行分析,经Ansys有限元分析和实际结果表明,蜂窝纸板2个方向的侧压强度相当,均为瓦楞板瓦楞方向侧压强度的1.5倍^[8]。在实际应用中也表明用蜂窝纸板制造的包装箱在储运过程中其破损率远小于瓦楞纸箱,这是因为储运中的包装箱叠层堆码时,下层的箱侧壁所受的正是侧压载荷。

1.5 缓冲性能好

缓冲衬垫材料在受到冲击载荷时处于受压状态。作为缓冲材料的蜂窝纸板和EPS的受压载荷应力-应变曲线见图2,其中A为蜂窝纸板,B为EPS。作为缓冲材料,它在受到冲击载荷时可压缩变形吸收冲击能量^[9]。图2中曲线下的面积称为材料的单位变形能。反映材料缓冲性能的参数为缓冲系数 C :

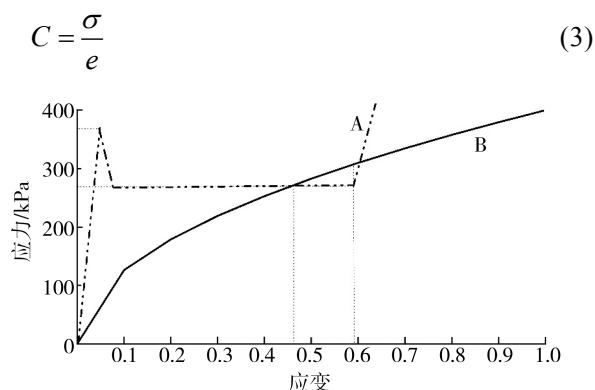


图 2 蜂窝纸板和 EPS 压缩时的应力-应变曲线

Fig.2 The stress-strain diagram when the honeycomb paper-board and the EPS are under compression

由图 2 可见,在同一应力水平时,蜂窝纸板的单位变形能大于泡沫塑料的单位变形能,即 $e_{\text{蜂}} > e_{\text{EPS}}$,由式(3)可知,蜂窝纸板的缓冲系数小于泡沫塑料。

在使用缓冲系数设计缓冲衬垫时有计算式^[10]:

$$d = \frac{Ch}{G} \quad (4)$$

式中: d 为缓冲衬垫的厚度; h 为跌落高度; G 为被包装物的脆值。式(4)表明缓冲材料的缓冲系数小,所用的缓冲衬垫厚度较小,用料少。实践表明在相同密度的条件下,使用蜂窝纸板用料比 EPS 少,且不污染环境。

蜂窝纸板还具有表面平整、不易变形、切割加工容易等特点,实为绿色包装的好材料^[11]。

1.6 绿色效应

当前提倡的绿色包装材料归纳起来有 3 种类型:环境友好型,即无公害材料并可回收再用;资源节约型,在包装使用的生命周期内最大限度地物尽其用;低碳环保型,它在从原材料提取到生命周期结束有较少的碳排放^[12]。符合上述 3 类绿色包装材料的首选就是蜂窝纸板。2007 年 9 月欧洲造纸工业协会(CEPI)披露了作为瓦楞纸的原材料林木纸的碳足迹,文件称林木作为造纸的原材料,它在生长过程中吸收大气中的二氧化碳,树木在光能的作用下把它转变为糖、氧气和有机物,为枝叶、茎根、果实、种子提供物质和能量来源,这就是森林的固碳效应。据计算,森林每生长 1 cm^3 林木需要吸收 860 kg 二氧化碳,同时释放出 620 kg 氧气。把林木制成纸以及纸制品,如蜂窝纸板就需经过对林木的砍伐、运输、切碎、打浆、制纸等一系列过程,在这期间由于能耗、机械运输以及一些物理化

学过程均向大气中排放二氧化碳^[12]。按照欧洲造纸工业协会的分析计算方法,欧洲瓦楞纸以及纸品工业协会计算出生产 1000 kg 瓦楞纸及纸制品排放的二氧化碳当量为 1004 kg ,而存储与 1000 kg 瓦楞纸以及纸品中的二氧化碳当量为 1474 kg ,因此每生产 1 t 瓦楞纸所存储的二氧化碳当量为 470 kg 。蜂窝纸板与瓦楞纸同为林纸制品,故可认为蜂窝纸板是一种储碳材料。同时蜂窝纸板基本是由再生纸制造的,而废弃的蜂窝纸板包装还可以回收再利用,因此可以说蜂窝纸板是低碳且可再生的绿色包装材料。

2 蜂窝纸板与瓦楞纸板的比较

蜂窝纸板是一种理想的绿色包装材料,它质量轻、强度高、缓冲性能好、吸音隔热、可回收利用^[13]。废纸很难回收再利用于出版、办公和日常生活中,但可用于制造蜂窝纸板,因此,蜂窝纸板已经成为人们关注的焦点,广泛应用于包装、建材等领域。

蜂窝纸板与瓦楞纸板都是纸制品,也都是储碳型绿色包装材料。瓦楞纸在军品包装,尤其是民品包装上已被普遍使用。在蜂窝纸板出现以前,它是唯一可选的纸包装材料。在蜂窝纸板作为包装材料出现后,两种材料各具特色,拓宽了军品绿色包装材料的选择范围。

瓦楞纸板自 1856 年由英国人发明以来至今已有 160 年历史,1871 年美国琼斯建立了世界上第一架瓦楞纸板厂,开始了规模化生产,经过 100 多年的发展,瓦楞纸板以及瓦楞纸板制品技术已相当成熟,并形成了大规模的产业。瓦楞纸板生产速度快,可达 400 m/min ,与纸箱成型形成联系生产线,制成瓦楞纸板箱价格便宜。同时由于瓦楞纸箱生产时可以折叠和使用时可展开的特性便于远距离运输,这正是当今包装界广泛使用瓦楞纸的技术基础。

蜂窝纸板最早出现在二战后,当时是被用于制造夹芯墙板,来搭建临时住房以解决二战时被德国炸毁房屋而无家可归的人的居住问题。20 世纪 90 年代,我国最先由广东荷力胜公司技术引进用作包装材料,当时正值天牛星事件爆发时期,它成为风靡一时的被包装界争相开发应用的新材料。蜂窝纸板尽管在我国仅有十几年的历史,但这一材料与传统的瓦楞纸板相比已展现出其优势。

1) 蜂窝纸板抗弯刚度大。常用的 30 mm 厚的蜂窝纸板其抗弯刚度和 12 mm 厚的松木板相当, 可以代替木材制造托盘。一只 1200 mm×1000 mm 承载 1000 kg 的标准托盘其质量是木质托盘的 2/5。用同样多的材料制成的重型瓦楞纸板其横向抗弯刚度仅是蜂窝纸板的 1/2, 纵向几乎没有抗弯能力^[14]。

2) 蜂窝纸板用材少。以常用的 A/E/B 型瓦楞板与厚度为 12 mm 的蜂窝芯、边长为 6 mm 的蜂窝纸相比, 前者 1 m²用纸量为 8.865 m², 后者用纸量为 5.03 m², 蜂窝纸板用纸量仅为瓦楞纸板用纸量的 56.7%。

3) 蜂窝纸板包装有较大的抗压能力。一项实验研究表明, 用厚度为 6 mm 蜂窝芯、边长为 6 mm 的蜂窝纸板制成一具 300 mm×200 mm×200 mm 的包装箱, 压缩实验时的破坏载荷为 2800 N。同时用 A 型瓦楞纸板制成的同样大小的包装箱, 其压缩的破坏载荷为 1500 N。使用厚度为 6 mm 的蜂窝纸板制成包装箱是可以折叠的, 因此蜂窝纸板包装箱和瓦楞纸板箱一样可以远距离运输。

4) 蜂窝纸板有结构和缓冲的双重性能。作为大型家电的电冰箱、空调机的包装形式是用 5 层瓦楞纸做外包装, 而内部加缓冲衬垫。由于蜂窝既是结构材料也是缓冲材料, 使用蜂窝纸板作为大型家电包装箱可同时发挥其既是外包装又是缓冲衬垫的作用, 可以减少包装程序并降低包装成本^[15]。

5) 蜂窝纸板有较强的承载能力。蜂窝纸板比瓦楞纸板承重大, 经测试厚度为 10 mm 的蜂窝纸板承重能力为 0.5~3 t/m², 是 5 层瓦楞纸板的 2~10 倍。如果在蜂窝芯外铺复合材料纤维板或木夹板, 构成外硬内软的包装, 其载重可达数吨。

3 蜂窝纸板在空投包装领域的应用效果及前景

综合对蜂窝纸板的性能描述, 可以说蜂窝纸板是绿色包装材料, 其密度低、用材少、强度刚度大、抗冲击缓冲性能好, 因此在民品包装领域被广泛使用。根据当前军队武器装备的生产制造提倡军民融合精神, 完全可以将蜂窝纸板这一绿色包装材料引入空投包装领域, 并投入某些部队使用。

1) 空投平台上的应用。空投平台也称空投货台, 用于承托货物并与降落伞连接, 货台装有缓冲减震系统以承接着陆时的冲击。美军在 20 世纪 60

年代使用的第 2 代空投平台为单元组合式结构, 每个单元长 1.22 m, 宽 2.44 m, 使用时按不同装备尺寸来组合。其缓冲减震系统主要采用蜂窝纸板, 材料规格是 1500 mm×700 mm×76 mm。要求所用的蜂窝纸板平压强度为 360 kPa。我国空降部队装备的有货台战车空投系统中, 战车被固定在钢制的货台上, 货台上安装有蜂窝纸板或者充气气囊等缓冲材料, 在战车空投着陆时蜂窝纸板或气囊发生变形被压缩, 从而起到缓冲作用。

2) 无伞空投物资上的应用。无伞空投是对地面物质器材支援的最简单的空投方式, 对体积较小质量较轻的物质器材采用一定的缓冲措施达到安全空投的目的。由空军某部同湖南华望科技股份有限公司联合研制出一款特种包装箱, 采用缓冲性能较强的蜂窝纸板制成, 对后勤保障物资器材进行无伞空投。在 200 m 高空进行无伞空投实验时, 落地后物资器材完好无损。实验证明, 用蜂窝纸板制作无伞空投包装箱可靠性高、费用小, 且空投的包装还可以回收再利用。

3) 特殊包装的应用。由纸质材料制成的蜂窝纸板具有不防潮、不防水、易燃等先天缺陷, 但由于蜂窝纸板的结构特点, 即由面板和芯材胶合而成, 所以可以对面板和芯材进行特殊处理, 达到防水阻燃的效果。同时还可以采取涂覆和填充等方法使其具有导电性能, 制成防静电、防电磁辐射以及防核辐射等功能的包装。蜂窝纸板除用作武器装备的绿色包装外, 还可以构成部队野营拉练的简易营房, 组合成临时柜、桌、台、椅, 使用时组成, 用完后拆卸, 不仅使用方便, 而且携带轻巧。

4 结语

蜂窝纸板具有质量轻、强度高、低碳环保以及价格便宜等方面的优异性能, 在民品包装中已得到广泛应用, 在多种包装构件中起到了绿色包装效应。军品武器装备包装既有特殊要求, 也有用民品包装的共性, 绿色包装也是军品包装的趋势。从民品包装对蜂窝纸板的应用来说, 它完全可以作为武器装备的包装材料。

参考文献:

- [1] 王文明, 藏建鸣, 向红. 蜂窝包装——我国包装产业的绿色低碳之路[C]// 2010 年包装与环境标准化国际

- 论坛, 2010.
- WANG Wen-ming, ZANG Jian-ming, XIANG Hong. Honeycomb Packing: The Green Low Carbon Road of the Packing Industry in Our Country[C]// The Packing and Environment Standardization International Forum, 2010.
- [2] 刘胜祥, 王兴业. 推广蜂窝纸板在军品包装中的应用[C]// 第二届全国军民融合包装论坛论文集, 2007.
- LIU Sheng-xiang, WANG Xing-ye. Promoting the Application of the Honeycomb Paperboard in the Packing of the Military Products[C]// The Second Session National Civil-military Integration Packing Forum Collection, 2007.
- [3] 孙丕举. 推广蜂窝纸板是实现低碳减排节材代木的重要途径[J]. 中国包装工业, 2010(11): 25—28.
- SUN Pi-ju. Promoting the Honeycomb Paperboard is an Important Way to Realize the Low Carbon, the Emission Reduction, the Materials Conservation and the Wood Cut[J]. China Packing Industry, 2010(11): 25—28.
- [4] 王兴业. 夹层结构复合材料设计原理及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- WANG Xing-ye. The Design Principle and Application of the Sandwich Structure Composite[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007.
- [5] DIAS A C, ARROJA L. Comparison of Methodologies for Estimating the Carbon Footprint-Case Study of Office Paper[J]. Journal of Cleaner Production, 2012, 24(3): 30—35.
- [6] 王志伟, 姚著. 蜂窝纸板冲击压缩的试验研究和有限元分析[J]. 机械工程学报, 2012, 48(12): 49—55.
- WANG Zhi-wei, YAO Zhu. Experimental Investigation and Finite Element Analysis for Impact Compression of Honeycomb Paperboards[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(12): 49—55.
- [7] 朱大鹏, 周世生, 张志昆. 蜂窝纸板动态特性建模与参数识别[J]. 振动与冲击, 2010, 29(4): 213—217.
- ZHU Da-peng, ZHOU Shi-sheng, ZHANG Zhi-kun. Dynamic Properties Modeling and Parameter Identification for a Honeycomb Fibreboard[J]. Journal of Vibration and Shock, 2010, 29(4): 213—217.
- [8] 李杨, 李光. 基于 SolidWorks 的托盘结构有限元分析及优化设计[J]. 包装工程, 2011, 32(19): 1—4.
- LI Yang, LI Guang. Structural Finite Element Analysis and Optimum Design of Pallet via SolidWorks[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(19): 1—4.
- [9] 张丽. 蜂窝纸托盘的堆码动态特性试验分析[J]. 中国现代教育装备, 2010(13): 68—71.
- ZHANG Li. Honeycomb Paper Pallet Stacking Experimental Analysis of Dynamic Characteristics[J]. China Modern Educational Equipment, 2010(13): 68—71.
- [10] 徐炜峰. 关于蜂窝纸托盘性能的研究与探讨[J]. 株洲工学院学报, 2000, 14(5): 17—19.
- XU Wei-feng. Research and Discussion on the Performance of Bee Nest Paperboard Pallets[J]. Journal of Zhuzhou Institute of Technology, 2000, 14(5): 17—19.
- [11] WANG Zhi-wei. Mathematical Modeling of Energy Absorption Property for Paper Honeycomb in Various Ambient Humidities[J]. Materials and Design, 2010, 31(9): 4321—4328.
- [12] E Yu-ping, WANG Zhi-wei. Plateau Stress of Paper Honeycomb as Response to Various Relative Humidities[J]. Packaging Technology and Science, 2010, 23(4): 203—216.
- [13] 郭彦峰, 张景绘, 付云岗, 等. 蜂窝纸板动态缓冲特性曲线测试分析[J]. 包装工程, 2002, 23(6): 6—8.
- GUO Yan-feng, ZHANG Jing-hui, FU Yun-gang, et al. Analysis of Dynamic Cushioning Property of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(6): 6—8.
- [14] 骆光林, 朱大鹏. 蜂窝纸板缓冲机理[J]. 包装工程, 2002, 23(5): 118—120.
- LUO Guang-lin, ZHU Da-peng. The Cushion Mechanism of the Honeycomb Fibreboard[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(5): 118—120.
- [15] YASUI Y. Dynamic Axial Crushing of Multi-Layer Honeycomb Panels and Impact Tensile Behavior of the Component Members[J]. International Journal of Impact Engineering, 2000, 24(6): 659—671.