

蜂窝纸板压痕折叠方法探讨

言利容, 谢 勇

(湖南工业大学 包装与材料工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 针对目前蜂窝纸板难以折叠成型的问题, 分析了蜂窝纸板压痕困难的原因, 以及实现折叠的可行性和前提条件, 讨论了蜂窝纸板制作缓冲衬垫可能的压痕折叠方法, 提出了搭接蜂窝纸板和改变蜂窝芯结构的方法, 为解决蜂窝纸板压痕折叠问题提供参考依据。

关键词: 蜂窝纸板; 性能; 压痕; 折叠

中图分类号: TB484.1; TB487

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2010)04-0014-05

Discussion on the Creasing and Folding Method for the Honeycomb Cardboard

Yan Lirong, Xie Yong

(School of Packaging and Material Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract : Aimed at the issue of difficulty in folding and forming for the honeycomb paperboard, the features of the structure and property of the honeycomb paperboard are analyzed while the feasibility of folding honeycomb paperboard is discussed. The currently existing methods on pressing, folding and forming are introduced in detail in the process of making cushion from honeycomb paperboard. Basing on that the methods of bonding two honeycomb cores with a facing and changing the shape of the honeycomb core are raised to offer references for solving the creasing and folding issue of honeycomb cardboard cartons.

Key words : honeycomb paperboard; performance; creasing; folding

蜂窝纸板是人类仿照蜂巢结构机理研究出来的一种轻质高强度复合材料^[1], 它由面纸、胶黏剂和蜂窝纸芯组成, 而蜂窝纸芯是由数层芯纸按一定规律错位上胶粘贴而成^[2]。蜂窝纸板具有质量轻、成本低、强度高、不易变形、吸音、隔热、抗冲击能力强等诸多优点, 被广泛用作家具、门等板面材料的内芯, 并且作为一种环境友好型包装材料, 用以取代泡沫塑料作为缓冲内衬^[3]。

目前蜂窝纸板的应用范围远不及瓦楞纸板, 其根本原因是蜂窝纸板的压痕折叠问题没有得到很好地解决, 也没有成熟的模切压痕工艺和设备。由于蜂窝芯

稳定的六边形结构具有优异的承受轴向载荷的能力, 因而蜂窝纸板具有刚性大、平压强度高、抗弯能力强的突出特点^[4]。同时, 蜂窝芯的抗弯强度具有各向异性和不均匀性的特点, 对其弯折时折痕通常沿蜂窝芯的棱边而不是直线形成^[5], 因此难以在蜂窝纸板表面形成理想、规则的压痕线。蜂窝纸板夹芯结构与瓦楞纸板不同, 其强度、刚度、厚度大, 结构复杂, 压痕折叠不能完全采用现有瓦楞纸板模压设备和方法, 不能像瓦楞纸板一样采用快速高效的模压法制成折叠型纸板, 故限制了其使用范围。为此, 本文从蜂窝纸板的物理性能出发, 分析造成蜂窝纸板折叠困难的原理

收稿日期: 2010-06-10

作者简介: 言利容 (1985-), 女, 湖南岳阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为减震缓冲材料,

E-mail: yanlirong1006@163.com

因, 讨论蜂窝纸板压痕折叠的几种可行方案, 为制作折叠型蜂窝纸板缓冲衬垫提供参考依据。

1 蜂窝纸板性能分析

1.1 抗压性能

为了解蜂窝芯结构的压缩机制, Y.Aminanda 等^[6]分别对 Nomex TM、铝合金、纸质蜂窝芯结构进行了压缩测试, 并用摄像头记录了实验过程, 发现压缩过程中细胞壁弯曲速度较快, 载荷主要由垂直边承受, 且蜂窝芯结构的压缩可用非线性弹性元件来模拟。

蜂窝纸板的抗压性能与原纸质量、面纸定量、蜂窝大小、纸板厚度等因素有关。孙亚平等^[7]通过实验对蜂窝纸板与其剥离面纸后的纸芯的抗压强度进行对比, 实验结果见表 1。

表 1 蜂窝纸板与纸芯的抗压强度试验结果

Table 1 The result of the experiment on honeycomb paperboard and core's compress resistance

孔径比	面纸定量 / (g · m ⁻²)	厚度 / mm	抗压强度 /kPa	
			纸板	纸芯
1.00	250 (茶纸板)	20	145.4	116.6
1.10	250 (瓦楞原纸)	20	136.7	130.3
1.15	580 (沙管纸)	35	185.9	173.2

由表 1 可知, 剥离面纸后的蜂窝纸芯的抗压强度较对应纸板有所减小, 但幅值不大。由此可见, 蜂窝夹芯决定着纸板的抗压强度。这是由于蜂窝夹芯具有稳定的六边形结构, 这种结构具有优异的承受轴向载荷的能力。

1.2 抗弯性能

由于夹层纸板的面纸相对于夹层来说较薄, 故可采用 Reissner 理论^[8]对其刚度进行估算。假设: 1) 表层较薄, 处于薄膜应力状态, 忽略面板本身抗弯刚度; 2) 夹层较软, 忽略夹芯对抗弯刚度的作用。可得到如下夹层结构刚度估算式^[9]:

$$D_x = E_{fx} t_f (h - t_f)^2 / 2, \quad (1)$$

$$D_y = E_{fy} t_f (h - t_f)^2 / 2. \quad (2)$$

式 (1) 和式 (2) 中, D_x 、 D_y 为结构弯曲刚度, E_{fx} 、 E_{fy} 为面板弹性模量, h 为夹层板厚度, t_f 为面板厚度, 下标 x 和 y 分别代表纸板机械制造方向和垂直于机械制造方向。

由式 (1) 和式 (2) 可知, 夹层结构抗弯刚度与厚度的平方成正比例关系, 即随着厚度的加大, 抗弯刚度大幅增加。据此, 耿敏等^[10]选用蜂窝孔直径为 10

mm、芯层厚度为 5.4 mm、纸板厚度为 6.2 mm 的蜂窝纸板, 和芯层厚度为 3.8 mm、纸板厚度为 4.6 mm 的瓦楞纸板, 分别对两者的刚度进行计算, 结果显示: 在机械制造方向, 蜂窝纸板的刚度为 10.83 N/m², 瓦楞纸板的刚度为 7.58 N/m²; 在垂直于机械制造方向, 蜂窝纸板的刚度为 31.52 N/m², 瓦楞纸板的刚度为 16.14 N/m²。由此可知, 在耗纸量相同的情况下, 蜂窝纸板的刚度远大于瓦楞纸板, 且具有明显的各向异性特征。

滑广军等^[11]应用有限元法选用同一种材料建立模型, 对蜂窝纸板和瓦楞纸板进行屈曲分析, 并采用克重材料抗压效率作为评价指标, 对 2 种纸板的边压强度进行对比, 得出蜂窝纸板高度方向的克重材料抗压效率约是长度方向的 2 倍, 且都优于瓦楞纸板。

2 蜂窝纸板满足折叠的前提条件

蜂窝纸板的夹芯结构和厚度均与瓦楞纸板不同, 故瓦楞纸板压痕折叠装置对蜂窝纸板不适用。蜂窝纸板的压痕顺序也与瓦楞纸板有所不同, 蜂窝纸板应先开槽、切角, 再压痕。在制造护棱、护角等缓冲衬垫时, 蜂窝纸板应保证压痕后能折叠成设计角 (一般为 90°), 且折叠后应能保持折叠状态而不回复成平板状。

压痕折叠质量的好坏与压痕深度及压痕角度有很大的关系。Tharkkar 等^[12]对瓦楞纸板的压痕进行了实验和仿真研究, 指出: 压痕操作减小了折叠区纸板的刚度; 压痕深度是影响压痕质量的一个重要参数, 若压痕太浅则折叠过程中会因外衬面上压痕部分应变过大而导致截面开裂, 而压痕太深纸板在压痕操作中就会开裂或者沿压痕线局部强度的过分下降导致无法折叠。压痕折叠质量与压痕模角度也有很大关系。Beex 等^[13]用实验和有限元模拟的方法研究了层合板的压痕和折叠, 并在电子显微镜下观察了实验过程中样品的变化情况, 作出了压力 - 压痕深度、力矩 - 角度关系曲线图, 并指出不仅分层是层合板获得好的压痕的条件, 而且压痕过程中必须有足够的塑性变形, 若没有塑性变形, 则在较浅压痕情况下那些期望弯曲的层将保持平直, 导致顶层更大的拉伸而开裂。

3 缓冲衬垫的压痕折叠方法

随着厚度的增加, 蜂窝纸板材料屈服点的应力值降低^[14], 即材料越厚, 在受到外力时越易达到屈服阶段, 产品的缓冲效果就越好。为更有效地利用蜂窝纸板的缓冲性能, 目前市场上所用蜂窝纸板厚度一般较瓦楞纸板要大。因蜂窝纸板较厚, 其折叠难度大, 一般用于制作护棱、护角等缓冲衬垫。

蜂窝纸板因其特殊的结构而具有较大的平压强度和抗弯曲强度,因此折叠难度大,折叠成型所需的压力较大,为降低、削弱蜂窝纸板的弯曲强度,通常采取剪切破坏和强力挤压的方法。

3.1 剪切破坏的方法

1) 狭缝压痕^[15-16]。狭缝压痕是用小刀纵向划开上面纸和蜂窝芯,使下面纸保持完好并将此作为折叠转轴。这种方法快速、精确、所需压痕力小,然而只有1层面纸覆盖纸板折叠部分,用作护角时若发生角接触碰撞,则不能很好地保护物品,其棱角处抗冲击强度低。

2) V形切割压痕^[15-16]。V形切割压痕是用V形钢槽纵向切压上面纸和蜂窝芯,使V形顶正好与下面纸接触,沿V形切割线折叠。依据V形角度大小,蜂窝纸板形成各种转角样式的折叠板。这种方法不能通过冲切完成且需要的设备复杂,限制了其推广使用。

3) Jaegers^[17]自锁蜂窝保护件。将带有2条细切口的圆形滚环在上面纸和芯纸上切开2条细切口,下面纸完好。将一个楔形物沿切口推入,除去芯纸,且使一边沿纵向有一个延伸的插舌,在上面纸另一边与芯纸切口边缘等距处切开1条纵向插口,这样插舌插入插口使2张纸板联结并自锁。用此种方法可制作折叠自锁式护棱和护角,图1为蜂窝纸板护棱折叠示意图。

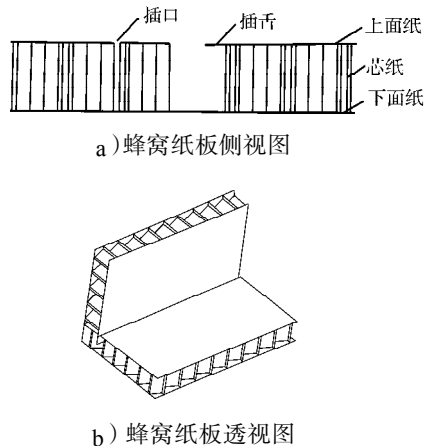


图1 蜂窝纸板护棱的折叠

Fig. 1 The folding of the honeycomb paperboard

以上3种压痕折叠方法要划破蜂窝纸板上上面纸,用于制作缓冲衬垫时是可行的,但会削弱所制保护件的强度。

4) Komarek等^[15]提出角压溃狭缝压痕方法。这种方法是用小刀在上面纸中央切开一条裂缝,切痕完全穿过上面纸并压溃蜂窝芯,下面纸保持完好。用带顶楔形物从裂缝插入压溃蜂窝纸板到预定的深度和角度,压溃区域作为折叠转轴,在上面纸切口处的纸面

上涂上胶黏剂,绕转轴折叠蜂窝纸板,两面纸就粘贴到一起,压溃的蜂窝芯阻碍它们进一步运动,保证了折叠角度和位置。为进一步保持折叠成型状态,在上面板上以折叠处为中心贴上一块胶布。这种压痕折叠方法适合连续生产的冲切加工,所需折叠力小,角冲击强度高,但若不使用胶黏剂等使纸板保持在折叠位置,则松开后可能恢复到平板状态。图2为其示意图。

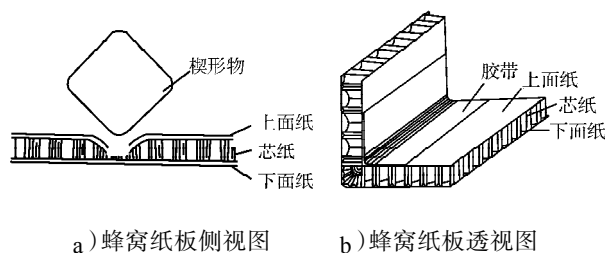


图2 蜂窝纸板角压溃狭缝压痕示意图

Fig. 2 The sketch map of the honeycomb paperboard with an angle crush slit score

此种方法虽然切开了上面纸,但是用于保持纸板折叠状态的胶带使纸板抗压强度有所提升,可用于制造重型物品的缓冲衬垫及箱体、箱盖、箱底组合安装的外包装纸板箱。

3.2 强力挤压的方法

1) 压力压痕^[15-16]。压力压痕是置于蜂窝纸板上的圆柱体受外压力作用在蜂窝纸板上形成弧形凹陷而形成的,不破坏面板。如果从两面同时进行压痕,形成的蜂窝纸板双压痕区域将作为双向转轴。但蜂窝夹芯稳定的正六边形结构使压痕线很难按照预定的直线形成,通常沿蜂窝芯的棱边形成波纹状曲线,同时纸板凹陷形成压痕线所需压力较大,压痕很难形成且压力除去后容易恢复到平板状。图3为其压痕示意图。

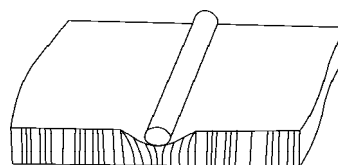


图3 压力压痕示意图

Fig. 3 The sketch map of the pressure creasing

圆轴压痕时芯纸会向同一个方向积压和重叠,产生一定的柔韧性从而方便折叠。若能减小使纸板压溃的压力,减小圆杆的直径或制作成圆弧形底的压轮,并在压痕处垫板开出下模腔,以使蜂窝纸板有弯曲变形的空间,则可大大减小压痕压力,压痕线也更易形成。压力压痕方法除可用于制作护棱、护角等保护件外,还可用于20 mm蜂窝纸板箱的模压成型^[18-19]。

2) 失稳压溃^[20]。蜂窝芯的抗弯刚度较大,在整个

蜂窝芯失稳前, 通常各棱边先向外弯曲导致棱边开胶。降低蜂窝芯的刚度, 或在蜂窝芯受到压力 F 的同时受到倾覆力矩 M 的作用而弯曲, 从而使蜂窝芯被压溃形成压痕, 见图 4。

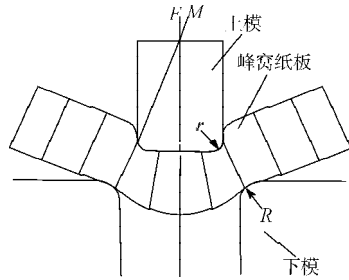
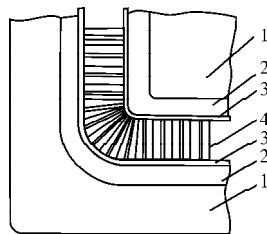


图4 失稳压溃示意图

Fig. 4 The sketch map of the buckling and crushing

3) Devaguptapu 等^[16]提出蜂窝结构成型制作方法。他们设计了一套具有上下模、能开合的压痕折叠成形的 L 形模具。L 形模具上下模分开, 放入已涂胶但尚未粘牢的纸板, 上下模闭合将纸板压成 L 形。上下模具由导热金属如铝、铜、不锈钢等制成, 工作时传递热量使面纸、芯纸间胶黏剂固化, 使压痕折叠成型。这种方法所制得的蜂窝结构具有较高的压缩和冲击强度, 并能保持成型结构, 用于制作 L 形护棱缓冲衬垫时非常方便, 可实现自动化生产。图 5 为其示意图。



1—加热装置; 2—上下成型模;
3—上下面纸; 4—芯纸

图5 蜂窝纸板折叠成型示意图

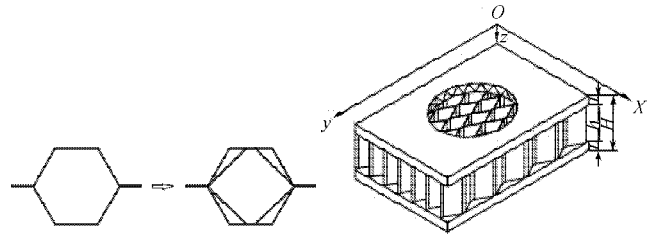
Fig. 5 The sketch map of the honeycomb panel folding forming

3.3 其他方法

纸板压痕折叠是制作缓冲衬垫的必要工序, 压痕质量的好坏对纸板在折叠成型中起着非常重要的作用。剪切破坏的方法易制成所需的保护件, 但要破坏面纸而削弱强度; 强力挤压不用人为切破面纸, 但压溃纸芯所需压力较大, 且若力度把握不当易导致面纸裂缝、面纸和芯纸开胶等故障。针对以上 2 种方法的缺陷, 提出搭接蜂窝纸板和改变蜂窝芯形状 2 种方法。

搭接蜂窝纸板即在制造蜂窝纸板时预先确定压痕部位, 并将此部位利用 2 块蜂窝芯搭接, 留出一定的压痕空间。这种方法制成的蜂窝纸板压痕时只需折叠 2 层面纸, 所需压力很小, 但纸板制作工序复杂, 难度较高。

改变蜂窝芯形状是将正六边形改成准菱形结构, 如图 6 a) 所示。菱形结构垂直受力侧壁由 6 个减为 4 个, 降低了纸芯高度方向上的结构稳定性, 使纸板更易于进行压痕折叠^[21]。菱形蜂窝纸板的结构如图 6 b) 所示。准菱形蜂窝纸板的制作工艺较搭接蜂窝纸板要简便, 且能在满足抗压强度的要求下达到降低压痕折叠的难度, 因此建议采用此种方法。



a) 菱形蜂窝芯的演变 b) 菱形蜂窝纸板的基本结构

图6 菱形蜂窝纸板结构示意图

Fig. 6 The sketch map of the rhombic honeycomb fiberboard

4 结论

1) 目前市场上使用的蜂窝纸板较厚且主要用于制作缓冲衬垫。在制作缓冲结构件时, 切开蜂窝纸板上表面纸而折叠的方法都是可行的, 其中利用胶黏剂等粘接比自锁式更牢固, 适合制作较重物品的缓冲衬垫。

2) 根据压力压痕的方法折叠蜂窝纸板不会破坏面纸, 压痕时芯纸向一个方向积压和重叠产生一定的柔韧性以方便折叠。根据此方法设计压痕装置可实现蜂窝纸板快速高效的模压法折叠成型。

3) L 形模具可使面纸和芯纸胶黏剂固化和折叠成型同时完成, 压痕折叠操作简单, 成型结构能永久保持, 且所得结构有较高的压缩和冲击强度, 可实现机械化生产。

4) 剪切破坏和强力挤压的方法都有优缺点, 基于此提出了搭接蜂窝纸板和改变蜂窝芯结构的方法。

参考文献:

- [1] Jochen P, Ignaas V, Dirk V. Folded Honeycomb Cardboard and Core Material For Structural Applications, Sandwich Construction 5[J/OL]. [2010-05-20] http://www.mtm.kuleuvin.be/Research/C2/projects/to_rhex/iccs5_torhexpaper.pdf.
- [2] 郝喜海, 胡协方, 林益平, 等. 蜂窝纸板成型机理及工艺的研究与探讨[J]. 包装工程, 2003, 24(3): 13-15.
Hao Xihai, Hu Xiefang, Lin Yiping, et al. The Study of the Moulding Mechanism and Process of Honeycomb Fibreboard [J]. Packaging Engineering, 2003, 24(3): 13-15.
- [3] Bitzer T N. Recent Honeycomb Core Developments[C]// Sandwich Construction Conference 3. Southampton: [s.n.], 1995: 555-562.
- [4] 平幼妹, 余本农, 邵文泉. 蜂窝纸板平压实验的研究[J]. 包装工程, 2005, 26(5): 115-117.
Ping Youmei, Yu Benlong, Shao Wenquan. Investigation on the Flat Crush Test of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(5): 115-117.

- [5] 耿 敏,熊宏智,葛效尧.蜂窝纸板与瓦楞纸板的复合刚度试验及分析[J].北京轻工业学院学报,2001(3): 11-16.
Geng Min, Xiong Hongzhi, Ge Xiaoyao. Test and Analysis for Rigidity of Combination of Honeycomb Fibreboard and Corrugated Fibreboard[J]. Journal of Beijing Institute of Light Industry, 2001(3): 11-16.
- [6] Aminanda Y, Castanie B, Barrau J J, et al. Experimental Analysis and Modeling of the Crushing of Honeycomb Cores [J]. Applied Composite Materials, 2005 (12): 213-227.
- [7] 孙亚平,卢立新,蔡和平.纸蜂窝结构平压性能的实验研究[J].包装工程,2003,24(1): 14-15.
Sun Yaping, Lu Lixin, Cai Heping. A Study to the Paper Honeycomb Core under Axial Compression[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(1): 14-15.
- [8] 中国科学院北京力学研究所固体力学研究室板壳组.夹层板的弯曲、稳定和振动[M].北京:科学出版社,1977: 63-67.
Solid Mechanics Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences Beijing Laboratory Shell Group. Sandwich Plates, Stability and Vibration[M]. Beijing: Science Press, 1977: 63-67.
- [9] 尹祥祉.蜂窝夹层材料的设计与工艺[M].北京:国防科学技术大学出版社,1982: 66-69.
Yin Xiangzhi. Design and Technology of the Honeycomb Sandwich Materials[M]. Beijing: National Defense Science and Technology University Press, 1982: 66-69.
- [10] 熊宏智,耿 敏.瓦楞结构与蜂窝结构刚度比较[J].北京工商大学学报,2001(9): 42-46.
Xiong Hongzhi, Geng Min. Contrast of Rigidity Between Honeycomb Cardboard and Corrugated Cardboard[J]. Journal of Beijing Technology and Business University, 2001 (9): 42-46.
- [11] 滑广军,谢 勇.蜂窝纸板与瓦楞纸板边压强度有限元分析[J].包装工程,2009,30(5): 1-2, 12.
Hua Guangjun, Xie Yong. Finite Element Analysis of Honeycomb and Corrugated Fiberboard Side Compression Strength[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(5): 1-2, 12.
- [12] Thakkar B K, Gooren L G J, Peerlings R H J, et al. Experimental and Numerical Investigation of Creasing in Corrugated Paperboard[J]. Philosophical Magazine, 2008, 88(28/29): 3299-3310.
- [13] Beex L A A, Peerlings R H J. An Experimental and Computational Study of Laminated Paperboard Creasing and Folding[J]. International Journal of Solids and Structures, 2009 (2): 4192-4207.
- [14] 王 梅.蜂窝纸板缓冲性能的研究及应用[J].包装工程,2000,21(4): 5-8, 12.
Wang Mei. The Research of the Honeycomb Fibreboard Cushioning Performance and the Application[J]. Packaging Engineering, 2000, 21(4): 5-8, 12.
- [15] Dale W, Komarek, Arlington H, et al. Articles Employing Folded Honeycomb Panels: The Unite States,US005683781A [P]. 1997-11-04.
- [16] Seshagiri R, Devaguptapu Lake Villa. Shaped Honeycomb Structures and Method and Apparatus for Making Shaped Honeycomb Structures: The Unite States, US006372332B1 [P]. 2002-04-16.
- [17] Robert E J, Lake Z, Raymond A, et al. Method for Forming a Honeycomb Corner Protector with Self-Locking Panels : The Unite States, US006007469A[P]. 1999-12-28.
- [18] 张新昌,王永光,杨金枝,等.蜂窝纸板箱折叠成型方法[J].江南大学学报:自然科学版,2004(3): 164-167.
Zhang Xinchang, Wang Yongguang, Yang Jinzhi, et al. Research on Folding-Forming Process for the Honeycomb Cardboard Boxes[J]. Journal of Southern Yangtze University: Natural Science Edition, 2004(3): 164-167.
- [19] 张新昌,杨金枝,王永光.蜂窝纸箱的成型工艺研究[J].出口商品包装:纸箱纸盒,2003(5): 97-100.
Zhang Xinchang, Yang Jinzhi, Wang Yongguang. Research of Honeycomb Carton Forming Process[J]. Export Packaging Carton Box, 2003(5): 97-100.
- [20] 李 清,王建红.蜂窝纸板箱模压成箱工艺研究[J].包装工程,2006,27(5): 299-300, 303.
Li Qing, Wang Jianhong. Research of the Mould Pressing Craft to Produce Honeycomb Carton[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(5): 299-300, 303.
- [21] 谢 勇.一种基于菱形蜂窝构型的夹层板及其基本性能[J].湖南工业大学学报,2008(6): 1-5.
Xie Yong. A Composite Sandwich Plate Based on Rhombic Honeycomb Configuration and Its Basic Performance[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2008(6): 1-5.

(责任编辑:徐海燕)