

一种基于复合纸板的新型重型纸质包装箱

张晶¹, 钟慧敏¹, 钱江², 陆恩黎², 张新昌¹

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 巨人通力电梯有限公司, 湖州 313000)

摘要: **目的** 开发一种用于机电产品包装的新型重型纸质包装, 以代替目前的木质包装箱。 **方法** 在对现有重型纸质包装研究分析的基础上, 评估蜂窝纸板及各种瓦楞纸板的优劣势。采用 A 瓦楞/蜂窝/B 瓦楞复合纸板, 利用该复合纸板设计一种新型重型纸质包装, 并利用 SolidWorks 软件对 2 种箱板结合形式的重型纸质包装进行静载力学对比分析。 **结果** 该新型箱板结合形式能够改善箱体的应力分布状况。 **结论** 该新型重型纸质包装节约储运空间, 易于成形, 在一定程度上改善了箱体应力分布, 是一种理想的代木包装结构形式。

关键词: 瓦楞/蜂窝复合纸板; 新型重型纸包装; SolidWorks 仿真分析

中图分类号: TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)03-0001-05

A New Type of Heavy Paper Packaging Box Based on Composite Cardboard

ZHANG Jing¹, ZHONG Hui-min¹, QIAN Jiang², LU En-li², ZHANG Xin-chang¹

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Giant Kone Elevator Co., Ltd., Huzhou 313000, China)

ABSTRACT: To invent a new type of heavy paper packaging for mechanical and electrical products to replace the current wooden boxes. On the basis of research and analysis about the existing heavy paper packaging, advantages and disadvantages of honeycomb cardboard and various corrugated cardboard materials were evaluated, and the corrugated A/cellular/B complex corrugated cardboard was selected. Then a new type of heavy paper packaging was designed using this composite cardboard. In addition, the static loading capabilities of two forms of heavy paper packaging were compared by Solid Works Software. The results showed that the new heavy paper packaging could improve the stress distribution of the packaging box. The new heavy paper packaging could save storage and transportation costs, was easy to form, and improved the stress distribution of the box to some extent. It was therefore an ideal replacement of wood packaging structure.

KEY WORDS: corrugated/honeycomb composite cardboard; new heavy paper packaging; SolidWorks simulation analysis

针对木质包装会消耗和浪费大量的森林资源, 以及木质包装出口面临的绿色贸易壁垒等困境, 我国相关部门相继出台了多项机电产品“节材代木”和“以纸代木”的相关政策^[1]。木箱包装生产企业、相关专业高校和机构的科研人员也在“节材代木”和“以纸代木”领域做出了很多大胆创新和研究。

目前, 重型瓦楞包装凭借其质轻、抗压、缓冲性好等优势, 成为市场上主要的重型纸质包装形式^[2]。美国里格扎姆公司将 2 个三瓦七层瓦楞纸板粘在一

起, 制作并构成 14 层的超重瓦楞纸板箱, 承重在 7.5 t 以上^[3]。苏州达成包装制品有限公司开发研制了一种新型重型瓦楞纸质套箱, 整体承重达 8 t 以上。该公司还研发了一种带燕尾锁扣的重载荷瓦楞纸箱, “六层复合重型双瓦楞纸板”利用纸箱下摇盖的燕尾槽结构实现自我固定, 避免了打钉和胶粘^[4]。

蜂窝纸板凭借其独特的蜂窝结构, 具有质量轻, 强度和刚度大等优点, 是理想的代木材料^[5-6]。针对蜂窝纸板不易折叠压痕的问题, 李清等人^[7-8]利用失稳压

收稿日期: 2014-10-20

作者简介: 张晶(1989—), 女, 山东济宁人, 江南大学硕士生, 主攻纸质包装材料与结构。

通讯作者: 张新昌(1961—), 男, 河南人, 江南大学教授、硕士生导师, 主要研究方向为产品包装整体解决方案、包装材料与结构。

溃原理解决蜂窝纸板的压溃、折弯问题。Komarek, Seshaghlri 等人^[9-10]提出了剪切破坏的狭缝压痕和V形切割压痕等新的压痕方式。目前,研究者利用蜂窝纸板进行蜂窝纸板箱和局部“以纸代木”包装设计,并通过抗压试验和Ansys等手段进行纸箱抗压和跌落性能研究^[11-14]。

蜂窝/瓦楞复合纸板同时具有蜂窝纸板和瓦楞纸板两者的优点,是“以纸代木”重型纸质包装的理想材料。文中将采用瓦楞/蜂窝复合纸板进行新型重型纸箱结构设计和分析,旨在提出一种改善目前重型蜂窝纸箱成箱工艺问题的新型结构方案。

1 新型重型纸质包装整体方案

机电产品包装是保护产品,提高产品附加值,方便流通,促进销售的重要手段,它既是产品生产的最后一道工序,又是保障产品安全运输的重要措施之一,直接关系到企业经济效益的实现及企业声誉。目前,机电行业仍然以木质包装为主,重型纸质包装的应用范围较小,这与纸质包装本身的一些弊端密切相关。

设计理想的“以纸代木”纸质重型包装,必须满足几个条件:包装材料和结构必须满足“代木”强度要求,保护内容物,防止包装和内容物在物流过程中出现破损;包装加工成形工艺简单,通过合理的包装材料选择和结构设计,简化包装成形加工工艺,提高生产效率,便于实现机械化生产;降低包装成本,实现“以纸代木”包装的一个重要目的就是降低企业的包装成本,所以较低的包装成本是重型纸质包装的重要优势,也是推进其广泛应用的重要动力。

1.1 瓦楞/蜂窝复合纸板复合形式选择

蜂窝纸板作为代木箱板主体材料,具有质轻、抗压强度大等优势,同时存在侧压强度低、耐戳穿强度低、不易压痕折叠成形等问题。瓦楞纸板具有较大的侧压强度和耐戳穿强度,以及良好的折叠压痕特性,所以采用蜂窝纸板与瓦楞纸板复合的三层结构形式能够弥补蜂窝纸板的缺陷,可得到综合性能优良的复合纸板,可作为理想的代木包装材料。

瓦楞纸板的瓦楞通常有4种类型,即A型(大瓦楞)、B型(小瓦楞)、C型(中瓦楞)和E瓦楞(微瓦楞)。4种瓦楞纸板与蜂窝纸板复合具有多种复合形式。考虑到A瓦楞纸板单位长度内的瓦楞数最少,楞

高最高,具有良好的减震缓冲性能,所以选择A瓦楞纸板作为复合纸板的内层材料,直接与内容物接触,能起到良好的缓冲保护作用。B瓦楞纸板与A瓦楞正好相反,单位长度内瓦楞数较多,楞高较小,能够承受较大的平面压力,所以选择B瓦楞纸板为复合纸板的外层材料,与蜂窝纸板共同承担外部较强的平面压载荷,保证箱体表面的平整。复合纸板的复合形式见图1。

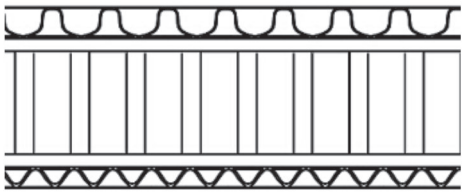


图1 复合纸板的复合形式
Fig.1 The structure of the composite paperboard

1.2 整体结构方案设计

1.2.1 托盘结构设计

该重型纸质包装方案中,托盘部分仍然采用木质托盘。现有的托盘结构从下至上,一般包括枕木、滑木、滑木连接板和底板,见图2。该包装结构设计方案中,在原有托盘结构的基础上,结合箱板结构,进行结构改造,适应箱板结构和托盘与箱体结合成形的要求。

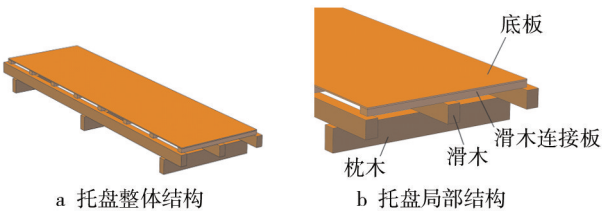


图2 托盘立体结构
Fig.2 The structure of the pallet

原托盘中,滑木连接板与底板的宽度略大于滑木跨距。文中托盘滑木连接板与底板的宽度和长度分别小于滑木跨度和长度,滑木连接板与底板的宽度与滑木跨度的差为 b ,长度差为 a ,见图3—4,其中 $a=b$ =复合箱板厚度。托盘与箱板组装固定成箱时,箱板下缘与滑木接触吻合,与底板和滑木连接板外缘紧密贴合,对箱板形成约束,防止箱板在托盘水平面方向发生移动,实现箱板在托盘平面方向上的固定。

1.2.2 箱板结构设计

基于蜂窝/瓦楞纸板的箱体包括2块箱体侧板(长

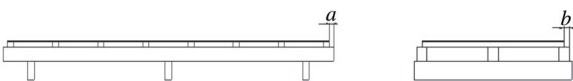


图3 托盘前视图

Fig.3 The front view of the tray



图4 托盘右视图

Fig.4 The right view of the tray

度较长的箱板)和2块箱体端板(长度较短的箱板)。箱板(侧板与端板)的复合结构见图5,矩形蜂窝纸板的两端裁切等距矩形凹槽,相邻侧板与端板的凹凸状槽口相吻合,成箱时扣合连接。将裁切成形的蜂窝纸板粘合固定在B瓦楞纸板上,B瓦楞纸板为矩形板,面积与蜂窝纸板相等。蜂窝纸板内侧面粘合A瓦楞纸板,A瓦楞纸板的面积为蜂窝纸板除去锯齿以外的面积。如图6所示,矩形蜂窝纸板的两端裁切成等矩形凹槽,相邻侧板与端板的凹凸状槽口相吻合。将箱板按照瓦楞外板的压痕线折箱,且将两相邻的蜂窝内板的矩形卡口扣合,扣合效果见图6b和图6c。

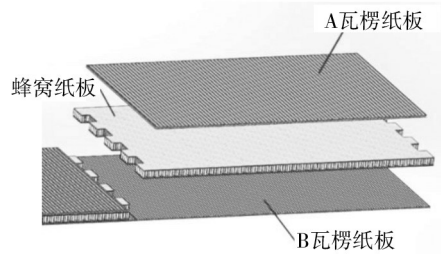


图5 箱板复合结构示意图

Fig.5 The composite structure of the box board

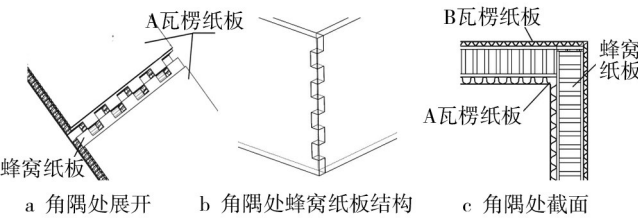


图6 箱板角隅结合处示意

Fig.6 Corner junction structure of the box board

为了加强纸箱抗压强度,实现箱板之间的连接固定,在侧板边缘粘合纸护角,侧板护角结构见图7。侧板护角底部见图7a,由圆形卡扣卡合形成包角结构。护角上部结构见图7b,上部倒角处设有圆形卡口。由图8可知,护角粘合在侧板两端,护角底部与箱板之间留有空隙 d , d =滑木高度,以便护角底部结构与木托盘四角处的滑木端部卡合,实现侧板在托盘垂直和水平方向发生移动。护角

与侧板两侧的距离 c 即复合纸板的厚度,箱板组合成形时,端板插入该结构,端板与侧板矩形凹凸槽口吻合,实现箱板结合固定。

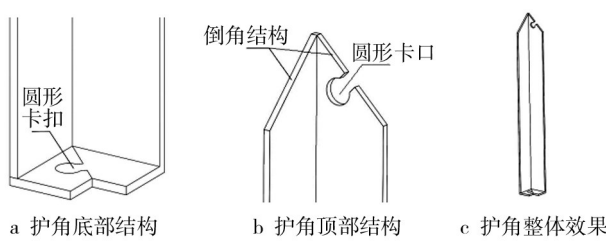


图7 侧板护角结构示意图

Fig.7 Schematic diagram of side corner structure

为了加强箱板的抗压强度,在侧板上部粘合护角,侧板整体效果见图9。端板上部护角结构见图10,截面形状为L,护角两端为倒角结构,与侧板护角的倒角相吻合。倒角结构处有圆形卡扣,与侧板两端护角圆形卡口扣合,实现端板和侧板的连接固定。

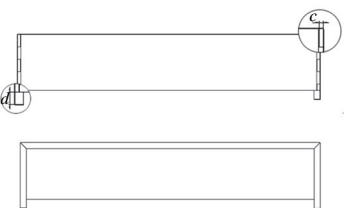


图8 侧板(加护角)正反效果

Fig.8 The positive and negative effect of side plate (plus corner)

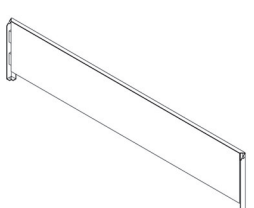


图9 侧板(加护角)效果

Fig.9 The overall effect of side plate (plus corner)

1.2.3 箱盖结构设计

箱盖结构见图11,在瓦楞纸板箱盖的顶面内侧粘贴一块蜂窝纸板,进一步增强整体重型包装的抗压性能。

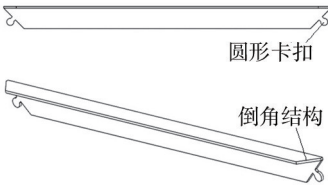


图10 端板护角

Fig.10 The angle bead of the end plate

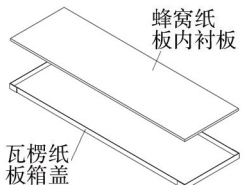


图11 箱盖结构

Fig.11 The structure of the box cover

1.2.4 整体包装结构方案以及包装工艺

整体包装见图12,由托盘、2组侧板组件、2块端板、端板护角和箱盖组成。首先将被包装产品放置并

固定在木托盘上,然后进行箱板组装成形。装箱时,先利用侧板组件护角底部的空隙与托盘滑木端部的配合,实现侧板在托盘上的固定。然后将2块端板的矩形槽口插入侧板两侧槽口,将另一块侧板的端部槽口插入两端板另一侧槽口。最后,将2个端板护角通过圆形卡扣与侧板护角圆形卡口扣合,完成箱体围板在托盘上的固定。

箱板套合固定在托盘上,加上箱盖后的整体效果见图13。利用捆扎带将加强箱板与托盘结合固定,防止箱盖脱离箱体。

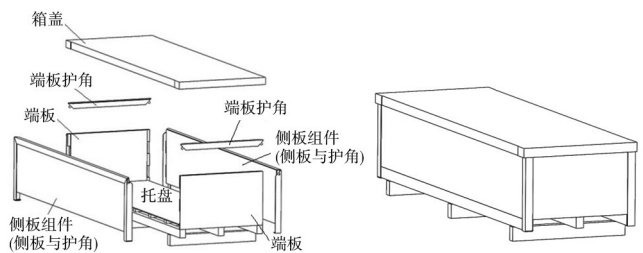


图12 箱体爆炸示意

图13 整体效果

Fig.12 The explosion picture of the box

Fig.13 The overall effect of the box and the pallet

2 基于SolidWorks的关键包装结构设计分析

要解决蜂窝纸板不易折叠成形的问题,必须将蜂窝纸板裁切成独立箱板,再通过某种方式将箱板结合组装成箱,所以箱板之间的结合方式是新型重型纸质包装箱结构包装方案的关键所在。

现有蜂窝纸板箱箱板的结合方式见图14a,2块蜂窝纸板不存在交互部分。文中设计一种新型蜂窝纸板结合方式见图14b,在蜂窝纸板端裁切出矩形槽口,2块蜂窝纸板槽口相吻合,并利用SolidWorks对这2种蜂窝纸板结合方式进行静载模拟分析。

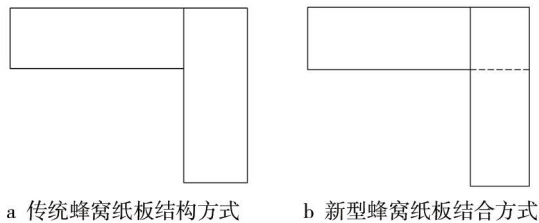


图14 蜂窝纸板结合方式

Fig.14 The combination modes of honeycomb cardboard

2.1 静力学分析求解的一般步骤

1) 建立有限元模型,设置材料属性。采用

SolidWorks 建立纸箱的三维模型,分别设置材料属性。由于蜂窝纸板和瓦楞纸板纸芯结构使网格总面积增大,造成软件分析工作量巨大,所以对蜂窝纸板和瓦楞纸板进行等效替代。瓦楞纸板与蜂窝纸板均为正交各向异性材料,通过查阅相关文献和资料^[16-18]求得其等效的材料属性,见表1。

表1 材料属性
Tab.1 Material properties

材料	密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	等效弹性模量/MPa			泊松比	
		E_x	E_y	E_z	μ_{xy}	μ_{xz}
蜂窝纸板	63	251.8	152.1	403.9	0.29	0.01
A 瓦楞纸板	180	840.6	944.9	4.2	0.31	0.01
B 瓦楞纸板	345	1681.2	1813.1	8.4	0.24	0.01

- 2) 定义网格控制并划分网格。
- 3) 施加载荷和边界条件。堆码时,纸箱主要靠侧板及端板承受载荷,故在对纸箱进行堆码状态下的静力学分析时,忽略次要条件。假设底层纸箱没有盛装物,箱子要盛装至少1000 kg的货物,再加上纸箱的质量,设置纸箱载荷为50 kg,堆码2层,则底层木箱在内装物不承装受重力的情况下,顶部受到1050 kg重物的压力。取安全系数 $k=1.5$,则箱体受力为15.435 kN。
- 4) 对问题进行求解。

2.2 结果分析

方案1为端板和侧板交接处无凹凸状的槽口结构,方案2为新型结构,即端板和侧板接口处有凹凸状槽口结构,相互吻合。对2个方案进行静载荷仿真对比分析,结果见图15。从2个方案的等效应力分布云图15a—b可以看出,2种方案的应力分布情况基本相同。在箱板与托盘枕木接触处,应力较大,枕木之间的箱板应力较小。沿着箱体,至上而下,应力逐渐减小。方案2的最大应力为60.7 kPa,方案1的最大应力为152 kPa。方案1的最大应力要远远大于方案2的最大应力,说明在相同静载荷的情况下,方案2的应力分布更均匀。A 瓦楞/蜂窝/B 瓦楞复合纸板的屈服强度经试验测试为0.41 MPa,方案2箱体的最大应力远远小于瓦楞/蜂窝复合纸板的屈服应力,满足强度要求。

由图15c—d等效应变分布云图可以发现,方案1箱体顶部的应变最大,且分布不均匀,在枕木之间的应变大于枕木上方箱板的应变。方案2箱体的最大应变小于方案1的最大应变,并且箱体上边的应变分布比较均匀。

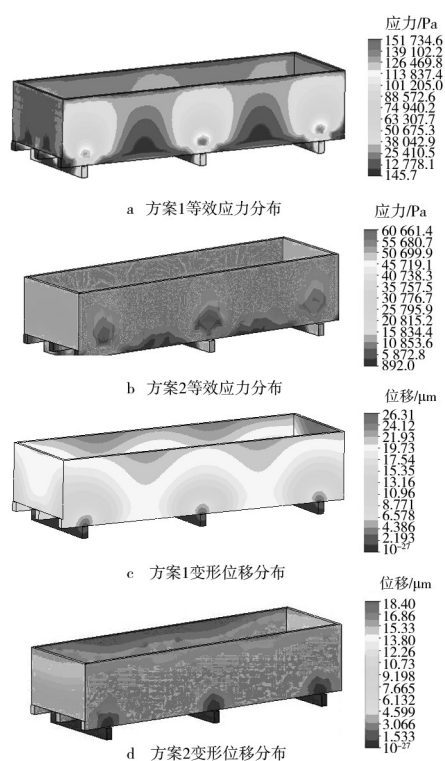


图15 等效应力和变形位移分布

Fig.15 Misses stress distribution

3 结语

新型重型蜂窝/瓦楞包装箱方案采用A瓦楞/蜂窝/B瓦楞复合纸板结构,综合发挥各纸板的性能优势,得到综合性能理想的代木材料。针对目前蜂窝纸板箱折叠性能差,只能通过纸护角进行粘合成箱,成箱效率低,储运空间大等问题,结合复合纸板结构特点和异性护角结构,进行结构设计优化。新型重型包装箱结构能够实现纸箱的快速成形,组装成箱过程简便。同时,通过SolidWorks仿真加载分析,发现该结构设计方案能够改善重型纸箱的应力应变分布和承重能力,满足对代木包装箱承载能力的要求。

参考文献:

- [1] 何玲莉, 裴影, 苏世伟. 机电产品包装节材代木科技成果转化探讨[J]. 木材加工机械, 2012(1): 30—33.
HE Ling-li, NIE Ying, SU Shi-wei. Scientific and Technological Achievements on the Materials of Replacing the Wood of Mechanical and Electrical Products Packaging[J]. Wood Processing Machinery, 2012(1): 30—33.
- [2] 庄孜. “以纸代木”的重型瓦楞包装[J]. 包装财智, 2012(3): 67—69.
ZHUANG Zi. The Heavy Corrugated Paper Packaging

Substituted for Wood[J]. Packaging Wealth & Wisdom, 2012(3): 67—69.

- [3] 国宾. 国外发展代木包装简述[J]. 中国包装, 2004(2): 67.
GUO Bin. The Foreign Development Generation of Wood Packaging[J]. China Packaging, 2004(2): 67.
- [4] 张惠忠. 带燕尾锁扣的重载荷瓦楞纸箱的新结构[J]. 中国包装工业, 2011(11): 62—63.
ZHANG Hui-zhong. The New Structure of Heavy Corrugated Paper Box with a Dovetail Lock[J]. China Packaging Industry, 2011(11): 62—63.
- [5] 贺丹华, 王双飞, 黄崇杏. 蜂窝纸板力学性能及应用情况的研究[J]. 包装工程, 2007, 28(10): 116—118.
HE Dan-hua, WANG Shuang-fei, HUANG Chong-xing. Research on the Mechanical Properties and Applications of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(10): 116—118.
- [6] WANG D M, WANG Z W. Out-of-plane Compressive Properties of Hexagonal Paper Honeycombs[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 20(2): 115—119.
- [7] 李清. 模压法制作蜂窝纸板箱可行性理论研究[C]// 第六届交通运输领域青年学术会议论文集, 2005.
LI Qing. The Feasible Theoretical Research to Produce Honeycomb Carton with the Mould Pressing Craft[C]// The 6th Session of the Traffic and Transportation Field of Youth Conference, 2005.
- [8] 言利容. 蜂窝纸板折叠压痕性能研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2011.
YAN Li-rong. The Creasing and Folding Properties of the Honeycomb Papercard[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2011.
- [9] SESHAGLRL R, DEVAGUPTAPU L V. Shaped Honeycomb Structures and Method and Apparatus for Making Shaped Honeycomb Structures: Unite States, 006372332B1[P]. 2002—04—16.
- [10] ROBERT E J, LAKE Z, RAYMOND A K, et al. Method for Forming a Honeycomb Corner Protector with Self-locking Panels: Unite States, 6007469[P]. 1999—12—28.
- [11] 张改梅. 蜂窝纸板及纸板箱性能的研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2001.
ZHANG Gai-mei. Study on the Performance of Honeycomb Paperboard and Cardboard Box[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2001.
- [12] 张媛. 蜂窝纸板箱的静态压缩特性研究[J]. 包装工程, 2006, 27(2): 61—63.
ZHANG Yuan. Research on Static Compression Properties of Honeycomb Paperboard Box[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(2): 61—63.

(下转第30页)

- 电化学行为[J]. 应用化学, 2005(2): 25—28.
- HU Chuan-yue, LI Xin-hai, WANG Zhi-xing, et al. Electrochemical Behavior of Organic Electrolytes for Flexible Packaging of Lithium Ion Batteries[J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2005(2): 25—28.
- [6] 刘继福, 郭纯武, 刘嘉鑫, 等. 聚合物锂电池软包装材料的瓶颈突破[J]. 中国包装, 2012(7): 16—18.
- LIU Ji-fu, GUO Chun-wu, LIU Jia-xin, et al. The Breakthrough of Bottleneck As Flexible Packaging Materials for Polymer Lithium Battery[J]. China Packaging, 2012(7): 16—18.
- [7] 周亮, 徐梦漪, 叶孝兆, 等. 锂离子电池软包装铝塑复合膜的研究进展[J]. 轻工科技, 2013(2): 28—29.
- ZHOU Liang, XU Meng-yi, YE Xiao-zhao, et al. Research on Plastic Composite Soft Membrane of Lithium Ion Battery[J]. Light Industry Science and Technology, 2013(2): 28—29.
- [8] 姚永根, 陈满儒. 光伏电池包装箱结构设计与托盘强度分析[J]. 包装工程, 2010, 31(23): 34—36.
- YAO Yong-gen, CHEN Man-ru. Structural Design of Packaging Box and Pallet Intensity Analysis of Photovoltaic Battery[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(23): 34—36.
- [9] 沈训乐, 刘乘. 几种常见缓冲托盘的缓冲材料研究[J]. 包装工程, 2012, 33(1): 11—13.
- SHEN Xun-le, LIU Cheng. Study of Cushion Materials of Several Common Cushioning Tray[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1): 11—13.
- [10] KRYSTAN M, ROBERT H, MARTIN B. Development of Near Hermetic Silicon/Glass Cavities for Packaging of Integrated Lithium Micro Batteries[J]. Microsystem Technologies, 2010(7): 1119—1129.
- [11] ZHANG Jian-bo, WU Bin, LI Zhe. Simultaneous Estimation of Thermal Parameters for Large-format Lithium Ion Batteries[J]. Journal of Power Sources, 2014(259): 106—116.
- [12] LUDGER M. Transport Von Lithium-und Lithium-ion-batterien[J]. Handbuch Lithium-ionen-batterien, 2013(12): 335—343.
- [13] 赵治国, 郭熙桃, 杨霄云, 等. 锂电池外壳专用料的改性及其应用[J]. 工程塑料应用, 2009(1): 12—13.
- ZHAO Zhi-guo, GUO Xi-tao, YANG Xiao-yun, et al. Modification and Application of Special Materials for the Lithium-ion Batteries Container[J]. Engineering Plastics Application, 2009(1): 12—13.
- [14] LEE Y W, SHIN W K, KIM D W. Cycling Performance of Lithium-ion Polymer Batteries Assembled Using In-situ Chemical Cross-linking without a Free Radical Initiator[J]. Solid State Ionics, 2014(255): 6—12.
- [15] JENNIFER L S, LU Y Y, SURYA S M. Electrolytes for High-energy Lithium Batteries[J]. Applied Nanoscience, 2012(2): 91—109.
- [16] 万敏, 陶强, 崔鹏, 等. 危险品包装的发展及常见质量问题探讨[J]. 包装工程, 2011, 32(3): 103—106.
- WAN Min, TAO Qiang, CUI Peng, et al. Development of Dangerous Goods Packaging and Discussion of Common Problems with Quality[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3): 103—106.
- [17] 蔡军锋, 易建政. 新型危险品防爆运输箱设计及抗爆试验研究[J]. 包装工程, 2012, 33(5): 33—35.
- CAI Jun-feng, YI Jian-zheng. An Experimental Study of Transport Box Design & Anti-explosion for a New Type of Dangerous Goods[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 33—35.
-
- (上接第 26 页)
- 27(2): 61—63.
- [13] 丁毅, 赵丽娟. 局部以纸代木包装箱的研究[J]. 包装工程, 2011, 32(13): 21—24.
- DING Yi, ZHAO Li-juan. Research on Partial Paper Wood Packing Case[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13): 21—24.
- [14] 张媛, 孟春玲, 曹利红. 蜂窝纸板箱的瞬态特性研究[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 24—26.
- ZHANG Yuan, MENG Chun-ling, CAO Li-hong. Research on Transient Performance of Honeycomb Paperboard Box[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 24—26.
- [15] 都学飞, 郭彦峰, 陶良毅, 等. 瓦楞蜂窝复合结构纸板强度性能的试验研究[J]. 包装工程, 2008, 29(8): 41—43.
- DU Xue-fei, GUO Yan-feng, TAO Liang-yi, et al. Experimental Research on Strength Properties of Corrugated-honeycomb Composite Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(8): 41—43.
- [16] 彭建林. 蜂窝纸板力学性能研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2008.
- PENG Jian-lin. Study on Mechanical Properties of Honeycomb Paperboard[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2008.
- [17] 孟超莹. 瓦楞形状对瓦楞纸板力学性能的影响分析[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- MENG Chao-ying. Study on Corrugated Shape Effects on the Mechanical Properties of Corrugated Paperboard[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2010.
- [18] 郝笑梦. 环保包装纸板强化技术及其性能研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- HAO Xiao-meng. Research on Environmental Protection Packaging Board Reinforcement Technology and the Performance[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.