

电商模式下塑料瓦楞板组合式周转箱应用

章军^{1,2}, 章佳平^{1,2}, 俞哲¹, 周浪³

(1.江南大学, 无锡 214122; 2.江苏省食品先进制造装备重点实验室, 无锡 214122;

3.华中科技大学无锡研究院, 无锡 214000)

摘要: **目的** 减少和消除电商模式下运输包装材料的浪费, 标准化快递运输载体。**方法** 设计一种模块化、标准化且方便拆卸、能循环使用的塑料瓦楞板组合式周转箱, 应用于企业内部, 企业与电商之间, 以及电商销售物流。**结果** 经 Ansys 仿真分析, 得出所设计周转箱抗压承载达到 10 kN, 约为同尺寸 0201 型 AB 楞五层瓦楞纸箱的 2 倍。**结论** 内框架组合使所设计的周转箱边压强度出色, 可拼接结构极大地增加了周转箱寿命, 塑料瓦楞可适应多种缓冲要求, 可以在一定程度下减少运输包装材料的使用。

关键词: 周转箱; 瓦楞纸箱; 塑料瓦楞; 抗压强度

中图分类号: TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)01-0157-05

Application of Plastic Corrugated Plate Combined Circulation Box in the E-commerce Mode

ZHANG Jun^{1,2}, ZHANG Jia-ping^{1,2}, YU Zhe¹, ZHOU Lang³

(1.Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2.Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment, Wuxi 214122, China;

3.Wuxi Research Institute of Huazhong University of Science and Technology, Wuxi 214000, China)

ABSTRACT: The work aims to reduce and eliminate the wasted transport packaging materials in E-commerce mode, and standardize the express transport carrier. A modular, standardized and easily disassembled turnover box combined with the plastic corrugated board was designed and applied in the enterprise, between enterprises and E-commerce companies, and in the E-commerce distribution logistics. ANSYS simulation analysis showed that, the designed turnover box had a compressive carrying capacity of 10 kN, approximately two times that of the 0201 AB five-layer corrugated box with the same size. The inner frame combination makes the edge compressive strength of the designed turnover box excellent. The splicing structure greatly increases the life of the turnover box. The plastic corrugation can adapt to a variety of buffer requirements, so that the use of transport packaging materials can be reduced to a certain extent.

KEY WORDS: turnover box; corrugated box; plastic corrugation; compressive strength

随着我国电子商务的飞速发展, 网上订单带来了大量的物流运输。小瓦楞纸板箱、内部缓冲件(隔震气泡膜、缓冲气囊)等运输包装材料使用量剧增, 其根本是运输包装模式也发生了巨大的变化。传统销售模式下一次瓦楞纸箱包装到终端零售具有多次运输性; 电商模式下厂商一次运输到电商配送中心, 即产生了运输包装废弃物 I; 电商配货后, 经快递物流,

送达消费者所需的运输包装废弃物 II, 这是新产生的二次运输装问题, 最终到达消费者手中, 无法回收。

物流包装垃圾与日俱增。国家邮政局的数据显示, 2014 年全国共消耗 140 亿张快递运单、20 亿条编织袋、55.84 亿个塑料袋、21 亿个封套、67 亿个包装箱、114.5 亿米胶带、20.1 亿个内部缓冲物。2015 年共消耗快递运单约 207 亿枚、编织袋约 31 亿条、

收稿日期: 2017-06-07

基金项目: 2015 年国家科技支撑计划 (2015BAF25B00)

作者简介: 章军 (1965—), 男, 博士, 江南大学教授, 主要研究方向为物流装备、关节型机器人。

塑料袋约 82.68 亿个、封套约 31.05 亿个、包装箱约 99.22 亿个、胶带约 169.85 亿米、内部缓冲物约 29.77 亿个。这其中，仅胶带总长度就可以绕地球赤道 425 圈^[1]。2016 年快递业务量完成 313.5 亿件，支撑网络零售额超过 4 万亿元，占社会消费品零售总额比重达到 12.5%，并提出了加快推进行业转型升级、着力推动绿色邮政建设是今后的重点工作之一^[2]。

瓦楞纸箱回收难度大且瓦楞纸再生产污染严重，我国废纸回收率虽然不断提高，由 2001 年的 27.5% 提高到 2007 年的 37.9%，到 2014 年达到 46% 但仍然远远低于世界上各发达国家 70% 以上的回收率^[3]。据中国再生资源回收利用协会估算，每吨废纸回炉化浆能生产 0.8 t 的再生纸，剩余 0.2 t 的缺口，要砍树伐木来解决，以 14 年 46% 的回收率来算总再生率仅为 36.8%。再生纸内纤维结构被破坏、其强度等各方面性能已下降，且再生纸生产比原纸生产消耗更多能源，脱胶脱色等工艺对环境污染的压力更大。

塑料周转箱目前广泛运用于各行业，如汽车入场物流塑料周转箱、啤酒塑料周转箱、防静电周转箱等。在用于电商使用小瓦楞纸箱大量装车层叠运输时，常出现被压溃变形、损坏货品。为了克服这种缺陷，提高装卸效率，京东和菜鸟公司都使用了斜插式塑料周转箱，订单货品被运输包装后按照目的地进行分拣装进周转箱。这虽然提高可靠性和装载效率，但是并没有解决二次运输包装产生的环保问题，还产生了带缓冲件的小瓦楞纸箱在周转箱内堆放后空间利用率降低的问题，因此设计一种新的周转箱，在一定程度上减少运输包装材料的使用。

1 周转箱设计

1.1 设计思路

传统上，从集装箱式货柜车运到一级批发商，再由箱式货车运到二级批发商，同种货品整纸箱最终送达零售商。电商模式下，从集装箱式货柜车直到电商配送中心，再按网上订单将多种单件混装进小瓦楞纸箱，快递物流送达客户。新时尚、个性化、定制性前提下，少数量、多品种的混装箱，再将整个混装箱按照目的地配载装车，发货到快递网点或实体店，因此，新零售下“批流”转变成“件流”产生了特殊的运输包装需求，并催生了零散货“点对点”的运输需求。

电商模式下的运输包装变革之路：采用可重复使用的同于或超越瓦楞纸箱运输包装特性的周转箱（以下简称周转箱）。采用周转箱的流程：核心是货品没有外包装下，同一仓库对某一网点的累积货品量，至少装满一个周转箱；周转箱采用可调间距刀卡分割、缓冲隔板分层，货品套袋后贴电子面单或喷码，装在不同的空间网格中；周转箱按照网点线路配载到

运输车辆，运转箱按转运距离远近，依次先后装车方便卸货。实现从包装出库直到网点的点对点的、无中间分拣的、只有内包装的货品物流，完全消除了瓦楞纸箱，缓冲件也方便从内部回收。

1.2 结构设计

如图 1—2 所示，金属内框架为骨架，4 个侧面及底面上塑料瓦楞板的内侧边分别与内框架接触，最外侧是直角包边（4 个侧面的 4 个上边框无直角包边，由金属压条与塑料瓦楞板组合），直角包边和塑料瓦楞板的外侧边之间是缓冲密封橡胶，靠内六角圆头螺钉和铆螺母将直角包边、缓冲密封橡胶和塑料瓦楞板固定在内框架上，内六角圆头螺钉和铆螺母联结时采用低强度胶水粘接，防止缓冲密封橡胶受冲击压缩时螺纹松动。箱盖的塑料瓦楞板一边通过金属铰链联结内框架，另外三边由塑料边框和金属的压条封边。4 个侧面与箱盖接触的边缘由内框架上边框封边。如图 2 所示，塑料瓦楞板由内侧的高强度膜、中间的缓冲层、外侧的塑料浅方盘粘接成型。

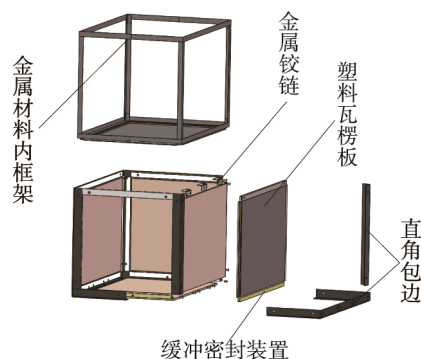


图 1 整体爆炸视图
Fig.1 Overall explosion view

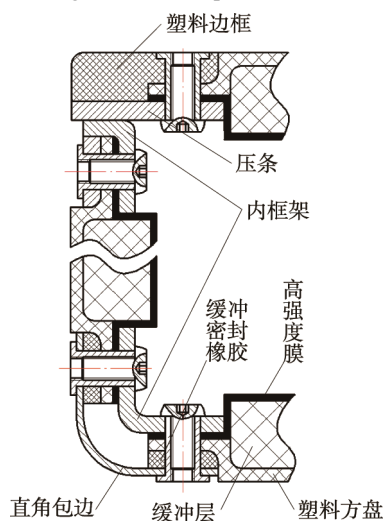


图 2 结构剖视图
Fig.2 Structure section view

目前使用的塑料瓦楞板又称为中空板，作为耐冲击、隔热、隔音的板材使用，没有箱体缓冲结构的设

计，其瓦楞结构仅为井字或等壁厚单波纹^[4]。对于等壁厚纸质瓦楞纸箱，屈曲和后屈曲现象大大影响了力学性能^[5]。采用环保型 PP 塑料加工的中空板周转箱及隔档，中空板采用塑料卡和铆钉联结，没有跌落冲击缓冲^[6]。文中所设计缓冲层可以是实心的海绵、橡胶、发泡塑料或非织造方式加工的缓冲材料。缓冲层也可以是异形瓦楞形状，瓦楞形状可以是变壁厚的各种瓦楞，如图 3 所示的变壁厚对称双波纹状，变壁厚对称双梯形，变壁厚、有间隔、倾斜壁的矩形瓦楞体等，瓦楞结构上有效克服屈曲和后屈曲现象。上下对称形状可以避免挤出成型过程中因厚度不一致而弯曲^[7]。瓦楞材料是塑料弹性体、橡胶等^[8]。

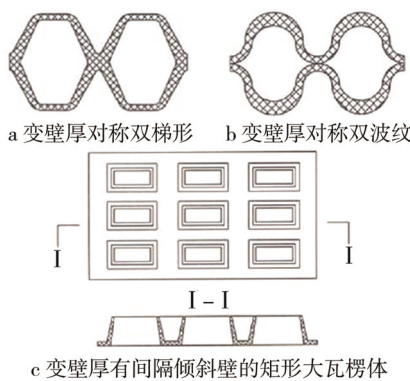


图 3 塑料瓦楞形状
Fig.3 The shape of plastic corrugation

1.3 周转箱尺寸标准化设计

目前关于周转箱尺寸的标准化虽然国家并未出台统一的标准但已经有相关文章^[9]中对其进行了研究并进行了相关设计。物流标准化工作的重点在于制定标准规格尺寸来实现全物流系统的贯通，以达到提高物流效率的目标。具体包括内容如下所述。

1) 物流基础模数尺寸的确定。物流系统的基础是物流基础模数尺寸。物流基础模数尺寸标准是标准化的共同单位尺寸或系统各标准尺寸的最小公约尺寸，它为物流系统中各个环节的配合、物流系统与其他系统得配合提供了依据。目前，欧洲各国及我国 ISO 中央秘书处确定物流基础模数尺寸为 600 mm×400 mm^[10]。

2) 确定物流模数。物流模数也叫集装基础模数尺寸。物流标准化应当建立在集装的基础之上，同时要确定集装基础模数尺寸。国际上物流模数尺寸以 1200 mm×1000 mm 居多，也允许使用 1200 mm×800 mm 及 1100 mm×1100 mm 等规格。物流模数体系结构见图 4。

物流基础模数尺寸与物流模数之间存在着组合关系。若干个物流基础模数尺寸模块组成一个集装单元基础模数尺寸模块，例如 1200 mm×1000 mm 可由 5 个物流基础模数尺寸（600 mm×400 mm）组成。

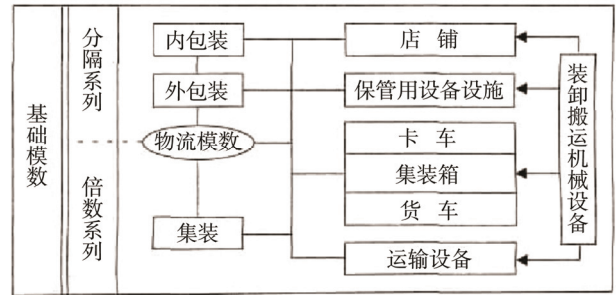


图 4 物流模数体系结构
Fig.4 Structure of logistics modulus system

3) 制定标准化尺寸系列。物流模数是形成物流包装系列化的基础，是物流系统各环节标准化的核心。生产制造尺寸是依据物流模数确定有关系列的大小和尺寸确定的。确定产品标准化尺寸常用的方法有模数分割法和组合分割方法。模数分割是两边分别从一开始连续的整数去除，得出各边尺寸，最大为 $M \times N$ ，最小为 200×200 ，见图 5。

分隔数	一边的长度	
1	M	N
2	$M/2$	$N/2$
3	$M/3$	$N/3$
...
n	200	—

图 5 模数分割尺寸系列
Fig.5 Dimension series made by modulus division

模数分割的方法计算简便，能使集装单元表面利用率达到最高且方法简便，易于机械化操作，能满足规模化运输包装的需求，但是这种方法也有一定的缺点，仅仅考虑了集合容器和包装箱的组合，不能保证包装箱的利用率最高。同时由于这种方法得出的尺寸系列堆码没有交叉搭接导致稳定性比较差。组合分割是将物流包装的长 c 和宽 d 按比例分割后组合并存在关系见式（1—2）。

$$nc + md + A = N \tag{1}$$

$$n'd + m'c + A = M \tag{2}$$

式中： n, m 分别为沿托盘宽度 N 方向上摆放横向和纵向包装个数； n', m' 分别为沿托盘长度 M 方向摆放横向和纵向包装个数； c, d 最小均为 200 mm

c/d 的比值很多，因此可以求出很多组物流包装的长和宽的尺码数据，常使用的 c/d 的比值有 $3/2, 4/3, 5/4, 6/5, 17/12$ 等。组合分割法确定的物流包装的长度和宽度可以在托盘上组合码成各种形式有利于托盘的利用，其中当 c/d 为 $3/2$ 时托盘的表面利用率可达 96%。周转箱的高度可以根据 GB/T 2003—2007“塑料物流周转箱”中规定高度优先数系 120, 160, 230, 290,

340 mm 进行参考,在实际流通中还需要考虑相应物流机械、交通工具等设施设备的要求,因此在此基础上还可以对高度进行适当调整。

1.4 周转箱使用管理

RFID 技术是一种非接触式的自动识别技术,它通过射频信号作为自动识别目标对象并获得相关数据。RFID 是一种简单的无线技术,包括标签、天线和阅读器 3 个基本器件,该技术用于检测、控制和跟踪物体。为了方便周转箱的管理,提高运输效率,该周转箱嵌入超高频 RFID 标签方便记录周转箱出入库情况,以及实时定位周转箱位置。再配上既有条形码又有 RFID 标签的智能电子锁即保证了周转箱内货物的安全又能方便开箱。此举大大减少了周转箱管理的工作量和周转箱丢失的情况。

2 内框架边压强度有限元分析

2.1 内框架模型建立

内框架是塑料瓦楞周转箱的骨架,也是整体强度的核心,其边压强度关系着整个箱体的抗压强度^[11-13]、堆码时的表现等,因此内框架的强度至关重要。由于要与常用瓦楞纸箱的抗压强度进行对比,所以模型的尺寸选常用的瓦楞纸箱尺寸,外尺寸为 420 mm×330 mm×210 mm,选用 Q235A 材料,尺寸为 8 mm×18 mm (上边框)与尺寸为 18 mm×18 mm、厚度为 3 mm 的角钢焊接成内框架。

2.2 静力学求解

查阅相关资料可知,尺寸为 420 mm×330 mm×210 mm 的 0201 型 AB 楞五层瓦楞纸箱的抗压强度最大为 5798.4 N^[14]。仅以内框架承载为研究对象,分析选用壳单元 shell 181,材料属性:弹性模量为 206 GPa,泊松比为 0.3,层厚度为 0.003 m。将模型的所有底边和底面全部约束,在上边框上施加 10 kN 的力,计算从而获得静力解变形见图 6。

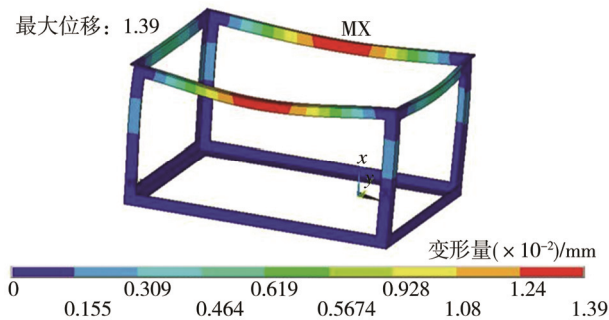


图 6 内框架变形

Fig.6 Deformation of inner frame

2.3 结果分析

由图 5 可知,内框架在承受 10 kN 的力时会发生

形变,但最大形变为 0.0139 mm,且在上边框四边内立柱形变量仅为 0.001 55 mm,运转箱完整的设计中还有塑料瓦楞板以及最外层的铝合金外包边,因此整体在受到 10 kN 力时的形变量应该会更小。传统的 0201 型 AB 楞五层瓦楞箱在受到 5900 N 左右的力时将会彻底被压溃,可见所设计运转箱的抗压强度远远优于目前的瓦楞纸箱。在堆码^[15]时,该运转箱能堆叠更高层数,大大提高了空间的利用率和运输效率。

3 讨论

该运转箱以轻量化、小型化的集装箱为设计理念,结合瓦楞纸箱的运输包装特性,实现其标准化、模块化,减少二次运输包装带来的环保问题。标准化、模块化运转箱的优点如下所述。

1) 货品安全性。从可靠性、仓储物流机械操作性等角度设计,异形瓦楞,变厚度瓦楞的易加工性(挤出或注塑及粘接),多种类材料的使用以及运转箱的金属内框架加强,缓冲密封橡胶的使用使其运输包装特性优于等厚度波纹形的纸质瓦楞纸箱。标准化的运转箱在运输车辆中叠放,受力由运转箱整体(箱面及边框)承受,同时在塑料瓦楞分层、分隔格挡的缓冲保护下,内包装货品在运转箱内运输,相互挤力小,破损率极小。

2) 组合塑料瓦楞板多样性与互换性。组合塑料瓦楞板是可以互换的。装配箱体时根据箱内负载大小、缓冲要求和箱体码垛高度等需求确定所需组合塑料瓦楞板的种类及瓦楞形状与尺寸。

3) 循环使用环保性。循环使用的塑料瓦楞板组合式运转箱,在降低成本的同时可以减少对环境的破坏。内部使用的损坏塑料件,便于回收,在已知成分配方前提下,添加新料和改性,再生产过程无污染,再生塑料件、缓冲件使用性能不变,是有效的绿色体系。

4) 作业高效性。优化后的标准化运转箱在运输车辆中叠放,占用运输车辆的空间小,内包装货品在运转箱内充填率高,因此货运数量加大。作为临时性仓储单元方便储存,自动化装卸、运输,信息化配送等物流作业效率高。

5) 结构可变适应性。标准化的塑料瓦楞板组合式运转箱,能够根据商品形状尺寸拼装运转箱和内部的缓冲垫、格挡。

6) 结构可变低廉性。塑料瓦楞组合式运转箱结构局部损坏,可以更换零件而不用整体报废,使用、维护的成本低。

7) 物联网使用性。循环使用的运转箱可以安装 RFID 电子锁及 NB-IoT 模块,实现运输、仓储的近程和远程通讯、定位等物联网功能,运输包装箱升级为新型物流装备运转箱,带来一套高效的物流体系。

4 结语

以瓦楞纸箱的运输包装特性和集装箱的标准化、高可靠性为目标,以运输包装转化成物流装备为思路,所设计组合式塑料瓦楞周转箱边压强度高,可大大提高堆码高度提高空间利用率和运输效率。并且能通过不同形状和材料的缓冲层定制设计以适应不同内装货物。内部循环使用、回收和再生产能减少和消除电商模式下运输包装材料的消耗及其产生污染。具有缓冲特性周转箱是一种新型物流装备,拟从企业内部物流切入,到电商同城物流,再到电商长途物流的推广使用途径。在设计、应用、管理等方面牵涉的问题是非常多,如:流通过程中各种载荷的确定,详细的结构设计、材料选择和工艺研究,周转箱的应用管理以及周转箱应用后的回流问题等。这一系列的问题都需要开展详尽的理论研究与实践改进。

参考文献:

- [1] 张颖川. 我国快递领域绿色包装发展现状及趋势[J]. 物流技术与应用, 2016, 21(4): 105.
ZHANG Ying-chuan. Present Situation and Trend of Green Packaging in Express Delivery Field in China [J]. Logistics Technology and Application, 2016, 21 (4): 105.
- [2] 国家邮政局. 2016年《中国快递领域绿色包装发展现状及趋势报告》[J]. 绿色包装, 2016(9): 10.
State Post Bureau. 2016《Present Situation and Trend Report of Green Package in Chinese Express Field》[J]. Green Package, 2016(9): 10.
- [3] 孔洁, 王桂荣, 王燕蓬. 我国废纸回收利用现状及发展前景分析[J]. 华东纸业, 2009, 40(1): 55—59.
KONG Jie, WANG Gui-rong, WANG Yan-peng. Present Situation and Development Prospect of Waste Paper Recycling in China[J]. East China Paper, 2009, 40 (1): 55—59.
- [4] 李祥刚, 刘跃军. 塑料瓦楞板发展现状及研究方向[J]. 湖南工业大学学报, 2006, 20(6): 4—7.
LI Xiang-gang, LIU Yue-jun. Development Status and Research Direction of Plastic Corrugated Board[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2006, 20(6): 4—7.
- [5] 段艳健. 瓦楞纸箱的屈曲和后屈曲研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
DUAN Yan-jian. The Study on Buckling and Post-buckling of Corrugated Boxes[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [6] 高昕包装制品(上海)有限公司. 环保型PP塑料中空板周转箱及隔档[J]. 上海包装, 2015(10): 35—37.
Gaoxin Packing Products Company. Environmental Protection Type PP Plastic Hollow Plate Turnover Box and Spacer[J]. Shanghai Packaging, 2015(10): 35—37.
- [7] 章军. 组合橡塑瓦楞板及用该瓦楞板制造RFID周转箱: 中国, 201610644802.5[P]. 2016-11-09.
ZHANG Jun. Composite Rubber Plastic Corrugated Plate and the RFID Turnover Box Made by the Corrugated Plate: CN, 201610644802.5[P]. 2016-11-09.
- [8] 章军. 组合橡塑瓦楞板及用该瓦楞板制造的RFID标签周转箱: 中国, 201611049943.9[P].
ZHANG Jun. Composite Rubber Plastic Corrugated Plate and the RFID label turnover box Made by the Corrugated plate: CN, 201611049943.9[P].
- [9] 武丽丽. 塑料周转箱力学性能分析及结构优化设计[D]. 西安: 西安理工大学, 2011.
WU Li-li. Mechanical Performance Analysis and Structural Optimization Design of Plastic Turnover Box[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2011.
- [10] 张连富. 物流学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
ZHANG Lian-fu. Logistics[M]. Beijing: People Communications Press, 2005.
- [11] 滑广军, 向红, 冯伟. 瓦楞纸箱的有限元建模及屈曲分析[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 34—35.
HUA Guang-jun, XIANG Hong, FENG Wei. Finite Element Modeling and Buckling Analysis of Corrugated Box[J]. Packaging Engineering, 2009(3): 34—35.
- [12] 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.
ZHANG Shu-bin, FENG Xue-zheng. Experimental Study on Compressive Strength of Corrugated Box[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(9): 10—11.
- [13] 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—4.
HUA Guang-jun, XIE Yong. Finite Element Analysis of Honeycomb and Corrugated Fiberboard Side Compression Strength[J]. Packaging Engineering, 2009, 30 (5): 1—4.
- [14] 薛叶玲. “卡夫”饼干运输包装纸箱抗压性能与配纸优化的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
XUE Ye-ling. The Research of Compression Performance and Paper Optimum Design of Kraft Biscuit Shipping Box[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [15] 张琴, 王保升. 瓦楞纸箱堆码性能分析[J]. 包装工程, 2011, 32(17): 47—51.
ZHANG Qin, WANG Bao-sheng. Analysis of Stacking Performance of Corrugated Carton[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(17): 47—51.