

包装技术与工艺

全瓦楞纸板的红酒包装内衬设计及跌落分析

石岩, 张括, 王芳, 张萌, 钟鸣星
(天津商业大学, 天津 300134)

摘要: **目的** 为了更加便捷地运输和包装红酒等易碎玻璃制品, 赋予其运输安全性、销售展示的美观性和一体性的功能。 **方法** 以 750 mL 溜肩红酒瓶为例, 选择 A 型和 B 型瓦楞纸板, 利用瓦楞纸板的挺度和折叠性对内衬结构进行造型设计, 从而实现内衬结构的一板折叠成型。对红酒运输包装件进行跌落试验, 得到红酒瓶的最大加速度曲线, 然后利用 Pro/E 软件建立实体模型, 导入有限元软件 ABAQUS 进行跌落仿真, 得到包装件响应加速度曲线。 **结果** z 方向最大加速度为 215.33 m/s^2 , 比水平方向的冲击加速度低很多, 即 z 方向跌落冲击缓冲性能好于水平方向。与跌落试验结果相比, 误差均在可接受的范围内, 表明有限元模型的建立是合理的, 能够较好地反映所设计的红酒包装件在跌落过程中的动态缓冲特性。 **结论** 内衬结构全部采用环保的瓦楞纸板材料, 易于加工成型。瓦楞纸板良好的缓冲性能和包装特性降低了红酒在运输过程中的破损率, 这种全瓦楞纸板的内衬结构设计不仅克服了红酒传统运输包装的缺陷, 而且弥补了纸质红酒包装结构单一的缺点, 对产品最大响应加速度的分析表明该结构设计能够满足红酒瓶直立放置时的冲击防护要求。

关键词: 运输包装; 瓦楞纸板; 缓冲设计; 内衬结构; 跌落; ABAQUS 仿真; 红酒

中图分类号: TB484.4; TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)09-0135-06

Design and Dropping Analysis of Package Lining for Red Wine with All Corrugated Board

SHI Yan, ZHANG Kuo, WANG Fang, ZHANG Meng, ZHONG Ming-xing
(Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

ABSTRACT: The work aims to more conveniently transport and package red wine and other fragile glassware and provide them with some functions like transport safety, beauty and integration of sales and exhibition. Taking 750ml sloping-shoulder red wine bottle as an example, the modeling of lining structure was designed by selecting type A and type B corrugated boards based on its stiffness and folding performance, thus achieving the lining structure by folding one-piece corrugated board. In addition, maximum acceleration curve of red wine bottle was obtained based on dropping test of transport packages of red wine; then solid model was established by using Pro/E software and imported into the finite element software ABAQUS for drop simulation; finally, the response acceleration curve of packages was obtained. The maximum acceleration in the Z direction was 215.33 m/s^2 , much lower than the impact acceleration in the horizontal direction, namely, its cushioning performance of drop impact was better than that in the horizontal direction. Moreover, compared with the results of drop test, the errors within the acceptable limits indicated that the finite element model built was reasonable and this model could better reflect the dynamic cushioning property of the red wine packages in the process of dropping. Such lining structure is entirely made of environmentally friendly corrugated boards easy to be processed and formed. And the breakage rate of red wine in the transport process is reduced because of the good cushioning properties and packaging characteristics of corrugated boards. Due to the design of lining structure with all corrugated boards, the defects of the traditional transport package of the red wine are overcome, and the deficiency of single structure of the paper package for red wine is also made up. Moreover, the analysis on the maximum response acceleration shows that such structural design can meet the requirements of impact protection when a red wine bottle is placed upright.

收稿日期: 2016-08-24

基金项目: 国家自然科学基金 (51403156); 天津市应用基础与前沿技术研究计划自然科学基金 (13JCYBJC38800)

作者简介: 石岩 (1975—), 女, 博士, 天津商业大学副教授, 主要研究方向为纤维素基功能包装材料。

KEY WORDS: transport package; corrugated board; buffering design; lining structure; dropping; ABAQUS simulation; red wine

随着人们生活水平的提高和电商产业的发展,红酒走进日常生活。由于红酒多采用玻璃瓶等易碎包装容器,所以该类商品对运输包装的保护性要求很高。无论是网购红酒还是普通红酒包装,在运输过程中常出现物品破损率高、成本高等问题,因而运输包装的设计对红酒的最终质量起着重要作用。通过调查发现,红酒运输包装内部多采用价格低廉、结构简单的充气泡罩或 EPS 模塑作为缓冲材料来填充包装空隙,这种过于粗糙的运输包装设计不仅降低了红酒的档次,而且充气泡罩对红酒的多重包裹造成了包装材料的浪费,产生更多的包装垃圾,降低了包装空间利用率,造成较高的运输成本^[1]。随着全球环保意识的日益加强,瓦楞纸质包装以其优越的环保性能和低廉的制作成本已成为当今包装工业不可逆转的潮流,且瓦楞纸板作为包装内部衬垫具有十分重要的作用^[2]。文中选择瓦楞纸板作为内衬材料,利用纸板的刚性和结构造型的创意设计进行全瓦楞纸板的红酒运输包装内衬结构的设计及包装件的跌落试验。与很多学者运用有限元分析软件 Ansys 模拟包装件的跌落动态分析不同^[3-7],文中利用 ABAQUS 分析软件中的固液耦合功能来模拟红酒包装件的跌落。

1 红酒运输包装

目前市场上常见的红酒种类繁多,包装容器造型各异。虽然极度奢华的木质和皮质红酒包装也不少见^[8],但普遍选用的是玻璃瓶或陶瓷瓶这类易碎材料的包装,采用这类易碎包装容器来盛装的红酒对运输包装的保护性要求较高,因此需要采用一定的缓冲包装材料进行间隔型的保护性设计,以应对其在整个运输环境中可能受到的各类冲击^[9]。另外,为了保证红酒品质、延长红酒的保存期,红酒酒瓶需尽可能斜放或横放。红酒的运输包装设计应从酒自身的化学特性和酒容器的物理特性出发^[10-12],将红酒与容器作为一个整体产品来进行运输、展示与销售于一体的多功能包装设计^[13]。

红酒运输包装形式共有 2 类:散装运输缓冲包装方案,该方案直接采用具有高缓冲性能的充气包装材料对酒瓶进行包装,然后再放入包装箱内^[14];高缓冲运输包装方案,该方案是将酒瓶直接散装放在运输包装纸箱内的缓冲内衬结构中,通过缓冲内衬结构将酒瓶之间相互隔开,缓冲内衬材料多为 EPS 泡沫制品^[15]。上述 2 类红酒运输包装形式均可对红酒在运输途中起到有效的缓冲作用,但所用材料都是不可降解的高分子材料,且存在过度包装^[1]的问题。

2 内衬结构设计

2.1 材料

瓦楞纸板是全世界公认的绿色环保型包装产品。在各种包装制品中,纸制品包装目前仍居首位,所占比例约为 38%。在纸制品包装中,瓦楞纸板包装制品约占 57%,足见瓦楞纸板在包装领域的广泛应用^[16]。目前运输包装常用的楞型为 A 型和 B 型。A 型的瓦楞高度和间距最大,柔软且富有弹性,有较好的缓冲性能、耐冲击能力和吸振能力,但楞较稀疏,抗压强度较低,适宜制作包装衬垫;B 型的平压强度较高,楞型较低、较密,抗压强度较高,适合包装较硬的产品,由于瓦楞间距较小,面纸比较平坦,印刷效果较好,且容易裁切加工。选择不同的楞型或不同层数的纸板制作纸箱时,主要依据内装物的重要性的对抗压强度的要求。综上所述,考虑到红酒包装属于易碎包装,对内装材料的平压强度、抗压强度和缓冲性能的要求较高^[17-19],因此,该设计采用 A 型瓦楞作为内衬结构材料,B 型瓦楞作为隔板和外纸箱材料。

2.2 缓冲结构

该设计中的被包装对象参考 750 mL 溜肩红酒瓶,其容量为 750 mL,瓶高为 320 mm,直径为 74 mm,质量为 530 g。

1) 内衬缓冲结构。根据红酒瓶的结构特点,利用瓦楞纸板的挺度和折叠特性,用三维 Pro/E 软件绘制出缓冲结构,见图 1a;瓶口和瓶底处缓冲结构采用 0920 型瓦楞纸板结构,见图 1b;用 AutoCAD 平面软件绘制该缓冲结构的展开图,见图 1c。

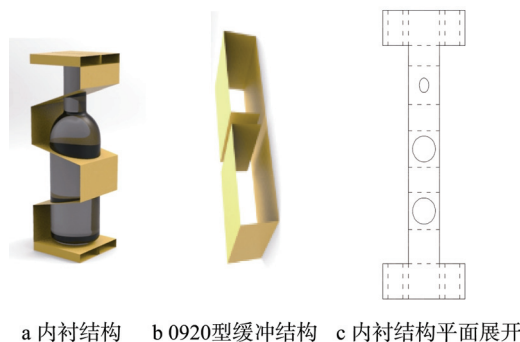


图 1 内衬缓冲结构
Fig.1 Graph of lining buffer structure

2) 隔板。该结构作为红酒瓶左右两侧的挡板,可以起到缓冲作用,以避免在运输过程中的冲击碰撞对酒瓶的损伤,见图 2a。采用 0201 型开槽纸箱,纸箱大小为 6 瓶装,整体装箱效果见图 2b。

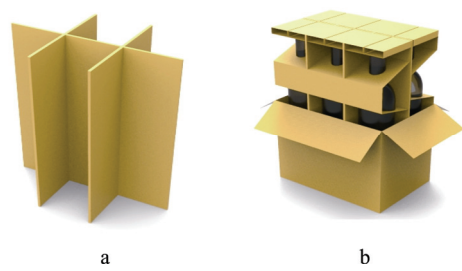


图 2 隔板 and 装箱效果
Fig.2 Graph of division plate and package

2.3 缓冲结构尺寸

文中红酒的运输包装由 3 部分组成，分别为内衬缓冲结构、隔板和 0201 型开槽箱。

1) 内衬缓冲结构尺寸。缓冲结构的内尺寸长度为 100 mm、宽度为 100 mm、高度为 356 mm，用 Auto CAD 绘制的 LH 面（长度-高度截面）内尺寸和 BH 面（宽度-高度截面）内尺寸见图 3。缓冲结构所用纸板选用厚度 d 为 5 mm 的 A 型瓦楞纸板，为了计算方便，将缓冲结构 LH 面体板和 BH 面体板进行编号，见图 4。BH 面各部分尺寸： $l_1=l_3=100+1.5d=107.5$ mm； $l_2=l_{12}=18+d=23$ mm； $l_4=58+d=63$ mm； $l_5=109+d=112.3$ mm； $l_6=l_8=74+d=79$ mm； $l_7=l_9=104+d=109$ mm； $l_{10}=97+d=100.3$ mm。LH 面各部分尺寸： $L_1=16.5+0.5d=19$ mm； $L_2=48+d=53$ mm。

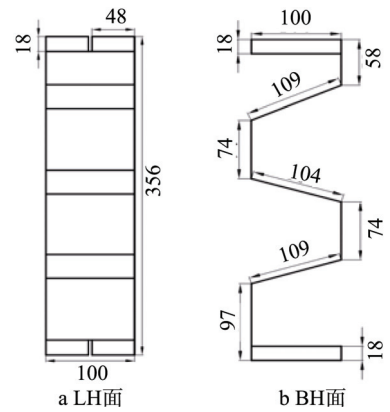


图 3 内衬缓冲结构内尺寸
Fig.3 Inner size of lining buffer structure

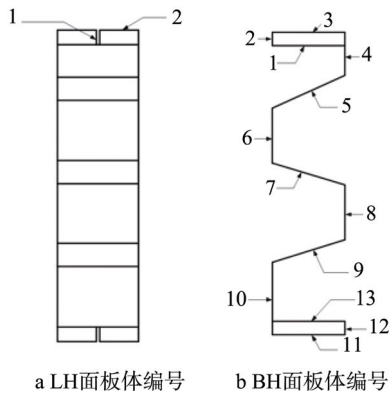


图 4 面板体编号
Fig.4 Number of panel in surface

2) 隔板制造尺寸。隔板使用厚度 d 为 3 mm 的 B 型瓦楞纸板，隔板的制造尺寸较为简单，见图 5。

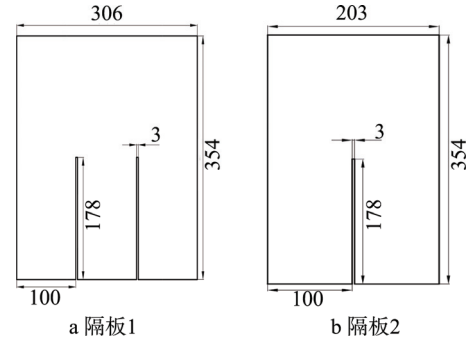


图 5 隔板制造尺寸
Fig.5 Schematic diagram of manufacturing size diagram of division plate

3 跌落试验

由于试验条件的限制，文中采用单一瓦楞内衬结构进行跌落与仿真试验。由 GB/T 4857.5—92《运输包装件跌落试验方法》可确定（包装件质量 <10 kg）跌落高度为 0.8 m，分别测量红酒包装件 x 、 y 、 z 三个方向的最大加速度值，测量 x 、 y 方向上的加速度时将加速度传感器放置在瓶身，测量 z 方向上的加速度时将加速度传感器放置在瓶口处，使传感器与地面保持垂直，并用胶带固定。跌落后检查红酒包装件，发现红酒瓶并无破裂的情况发生。在不同方向上红酒瓶跌落的最大加速度曲线见图 6，可知在 x 方向上红酒瓶最大加速度为 533.2 m/s^2 ， y 方向上红酒瓶最大加速度为 411.62 m/s^2 ， z 方向上红酒瓶最大加速度为 220.59 m/s^2 。 x 和 y 方向在达到最高点后迅速恢复到稳定状态， y 方向上在达到最高点后有微小波动，这是由于在包装件落地后缓冲衬垫变形导致红酒瓶产生微小振动；包装件在 x 和 y 方向产生不同的最大加速度，这是因为在落地时 x 方向衬垫较 y 方向受力面积小，产生了更大的冲击强度； z 方向加速度在达到最高点后呈震荡衰减到稳定状态的趋势，冲击时间相对较长，应力传递较好。结果表明文中所设计的全瓦楞红酒运输包装的内衬结构在垂直酒瓶的 z 方向保护

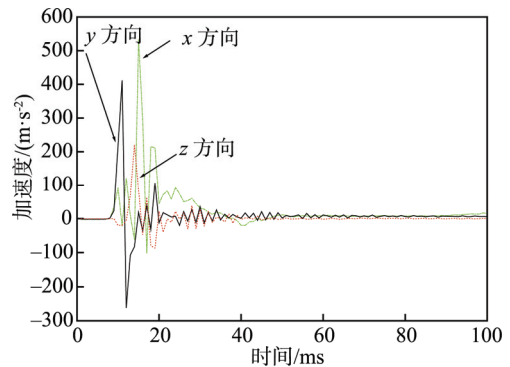


图 6 不同方向红酒瓶跌落时间-加速度曲线
Fig.6 The dropping time-acceleration curve of red wine bottle in different direction

性能较好,在水平方向上产生的冲击强度较大。

4 跌落仿真分析

ABAQUS 具有非常强大的非线性分析功能,可以对复杂的力学系统进行分析,使用 ABAQUS 6.14 对红酒及红酒缓冲包装件进行跌落仿真分析,利用欧拉-拉格朗日耦合分析方法模拟在跌落过程中的冲击响应,以评价全瓦楞红酒内衬结构对内装物的保护作用。

4.1 模型参数

瓦楞纸板具有清晰确定的几何结构,该结构对内装物具有重要的保护作用。在 ABAQUS 中没有提供瓦楞纸板的材料结构模型,故需通过等效模型进行有限元建模,目前常用的等效模型有 2 种,即三

治夹芯板理论和等效板理论,文中采用三明治夹芯板理论计算瓦楞夹层结构的等效弹性常数,模型的材料参数见表 1^[20-21]。红酒瓶、混凝土地面、红酒的有限元参数见表 2。

4.2 红酒包装件有限元模型的建立

在 Pro/E 中建立好包装件的等效模型,保存为 step 格式导入 ABAQUS 中。step 是一种中性格式,它相比于 iges 格式数据范围更广、精度更高。定义包装件所有接触的摩擦因数为 0.2,瓦楞纸板与地面之间的接触摩擦因数为 0.5,法向接触均为“硬接触”,约束地面为刚体。根据公式 $v = \sqrt{2gh}$ 可知,包装件到达地面的速度为 3.96 m/s,为全模型施加全场重力场,重力加速度为 9.8 m/s²。

表 1 瓦楞纸板的工程弹性常数

Tab.1 Engineering constant parameters of corrugated board

	弹性模量/MPa			泊松比			剪切模量/MPa			纸板类型	厚度/mm
	E_x	E_y	E_z	ν_{xy}	ν_{xz}	ν_{yz}	G_{xy}	G_{xz}	G_{yz}		
面纸	7600	4020	38	0.34	0.01	0.01	2140	138	115	200WTK	0.296
A 型	912	691.704	27.97	0.34	0.01	0.01	256.8	68.57	9.25	—	5

表 2 模型中其他材料参数

Tab.2 Parameters of other materials in the model

材料	弹性模量/GPa	泊松比	密度($\times 10^3$)/(kg·m ⁻³)	声速/(m·s ⁻²)	粘度/(Pa·s)
红酒瓶	90.3	0.243	2.53	—	—
混凝土地面	20	0.15	2.5	—	—
红酒	—	—	1	1450	0.001

ABAQUS 具有丰富的单元库,用户可以根据模型的情况和需求选择合适的单元类型。设置红酒酒瓶和等效瓦楞纸板模型为显式 8 节点六面体线性积分减缩单元;设置混凝土地面为 4 节点双曲率通用壳单元;液态红酒的单元选择欧拉体单元,红酒模型和缓冲包装件网格划分见图 7。



图 7 红酒包装件有限元模型

Fig.7 Finite element model of red wine package

4.3 跌落仿真分析结果

在红酒瓶上选取节点绘制时间-加速度曲线,节点位置的选择要与试验中加速度传感器的位置保持一致,即选出瓶口处和瓶身处相应节点。根据跌落试验结果,设置红酒包装件冲击时间为 30 ms,见图 8,可知有限元仿真结果与试验结果趋势基本一致: x 方

向跌落产生正向加速度最大,但是负方向加速度较小,表明缓冲衬垫在 x 方向缓冲能力较差; y 方向加速度在达到峰值后持续震荡,然后趋于平稳; z 方向在冲击发生后约 25 ms 时产生负方向的加速度,这是由于瓶内液体受到冲击作用,向上弹起对瓶塞施加作用力产生反方向的加速度。红酒瓶在 x 方向上最大加速度为 511.09 m/s², y 方向上最大加速度为 383.23 m/s², z 方向上最大加速度为 215.33 m/s²。与跌落试验结果相比,误差分别为 4.3%, 7.4%, 2.4%, 所得

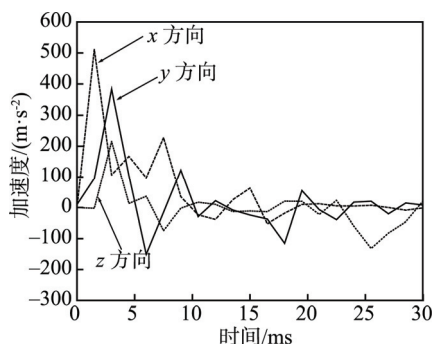


图 8 红酒包装件有限元仿真跌落结果

Fig.8 Result of dropping simulation of red wine package by finite element

误差均在合理的范围内,可以认为有限元模型的建立是合理的,能够较好地反映所设计的红酒缓冲内衬包装在跌落过程中的动态缓冲特性。

5 结语

针对红酒运输包装存在物品破损率高、能源利用率低、成本高、强度低等问题,对现有的红酒包装进行了创新设计。红酒运输包装的内衬材料为环保的A型瓦楞纸板,内衬结构为一纸成型结构,易于加工成型。内衬结构的造型设计可允许红酒酒瓶横放和倒立放置,减小了红酒瓶在运输过程中的损失。隔板为B型瓦楞纸板,外包装纸箱则采用由一整块纸板裁切、开槽、压线而成的上下摇盖与箱面连体,向内弯折后形成箱底和箱盖的0201开槽式纸箱,使其运输和包装更加便捷。

通过红酒包装件的跌落试验,得到红酒包装件不同方向上的加速度曲线,运用三维软件Pro/E与有限元分析软件ABAQUS建立了红酒包装件的跌落仿真有限元模型,分析了包装件动态缓冲性能。试验结果表明,文中设计的红酒内衬缓冲结构在 z 方向上的跌落冲击缓冲性能良好,水平方向上的冲击加速度均较大,为了增加红酒在运输包装中的安全性,可以在外包装上印刷“竖放”等相关标识以防止酒瓶破裂的情况发生。有限元仿真的结果表明,文中模型的建立、材料参数的选择、边界条件的施加均与实际相符合,得到的结果与试验所得结果一致,符合缓冲包装的要求。

参考文献:

- [1] 缪丽娜, 仲金泉, 张新昌. 瓷砖产品的全瓦楞纸板缓冲包装设计[J]. 包装工程, 2010, 31(21): 64—67.
MIAO Li-na, ZHONG Jin-quan, ZHANG Xin-chang. Design of Cushioning Packaging for Ceramic Tile Product with All Corrugated Board[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(21): 64—67.
- [2] 肖颖喆. 瓦楞纸箱层叠式内衬与折叠式内衬结构比较——以日用瓷器包装为例[J]. 包装学报, 2014, 6(4): 44—48.
XIAO Ying-zhe. Comparison Study of Multi-Layer and Folding Liners of Corrugated Cartons: Taking Ceramic Product Packaging as an Example[J]. Packaging Engineering, 2014, 6(4): 44—48.
- [3] 巩雪, 常江, 孙智慧. 高脚杯缓冲包装力学性能有限元分析[J]. 包装工程, 2016, 37(13): 50—53.
GONG Xue, CHANG Jiang, SUN Zhi-hui. Finite Element Analysis of Mechanical Properties of Goblet Cushion Packaging[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(13): 50—53.
- [4] 丁玉平. 基于Ansys/LS-DYNA的某缓冲包装缓冲特性分析与优化[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
DING Yu-ping. Cushioning Characteristics Analysis and Optimization of Some Cushioning Package[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [5] 张璐. 基于Ansys/LS-DYNA的瓦楞纸箱跌落仿真研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014.
ZHANG Lu. Dropping Simulation Analysis of Corrugated Boxes Based on Ansys/LS-DYNA[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2014.
- [6] 王春霖, 张丽强, 王振林. 基于Ansys的啤酒瓶跌落仿真应力分析[J]. 包装工程, 2006, 27(4): 23—25.
WANG Chun-lin, ZHANG Li-qiang, WANG Zhen-lin. Stress Analysis of the Glass Beer Bottle by Dropping Simulation Based on Ansys[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(4): 23—25.
- [7] 丁玉平, 钱怡. 包装件跌落仿真分析与结构优化[J]. 包装与食品机械, 2014(4): 44—47.
DING Yu-ping, QIAN Yi. Drop Simulation Analysis and Structure Optimization of the Overall Package[J]. Packaging and Food Machinery, 2014(4): 44—47.
- [8] 焦彦红, 孙伯兴, 何庆. “多功能红酒包装”设计感言[J]. 上海包装, 2013(6): 14.
JIAO Yan-hong, SUN Bo-xing, HE Qing. Design Comments on "The Multifunctional Wine Packaging Design"[J]. Shanghai Packaging, 2013(6): 14.
- [9] 黄昌海. 酒品运输缓冲包装设计方案分析[J]. 印刷技术, 2013(6): 24—26.
HUANG Chang-hai. Analysis of the Design Scheme of Buffer Packaging for the Transport of Liquor[J]. Printing Technology, 2013(6): 24—26.
- [10] BALLZAROTTI S, MAVIGLIA B, BIASSONI F, et al. Glass vs Plastic: Affective Judgments of Food Packages After Visual and Haptic Exploration[J]. Procedia Manufacturing, 2015(3): 2251—2258.
- [11] MARQUEZ A, SERRATOSA M P, LOPEZ-TOLEDANO A, et al. Color and Phenolic Compounds in Sweet Red Wines from Merlot and Tempranillo Grapes Chamber-dried under Controlled Conditions[J]. Food Chemistry, 2012, 130(1): 111—120.
- [12] BUTZKE C E, VOGT E E, CHACON-RODRIGUEZ L. Effects of Heat Exposure on Wine Quality during Transport and Storage[J]. Journal of Wine Research, 2012, 23(1): 15—25.
- [13] 王瑞, 成思源, 赵荣丽, 等. 基于TRIZ和Pro/Innovator的红酒包装创新设计[J]. 包装工程, 2013, 34(17): 1—4.
WANG Rui, CHENG Si-yuan, ZHAO Rong-li, et al.

- Red Wine Packaging Innovation Design Based on TRIZ and Pro/Innovator[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(17): 1—4.
- [14] 徐健, 刘晓玉, 王保升. 缓冲气柱袋在运输包装中的应用设计及研究现状[J]. 印刷技术, 2016(2): 40—42.
XU Jian, LIU Xiao-yu, WANG Bao-sheng. Application Design and Research Status of Buffer Gas Column in Transport Packaging[J]. Printing Technology, 2016(2): 40—42.
- [15] 王雪芬. 瓶装产品的充气袋包装研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
WANG Xue-fen. The Research of Inflatable Bag Packaging for Bottled Products[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [16] 彭国勋, 郭彦峰, 宋宝丰. 物流运输包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2014.
PENG Guo-xun, GUO Yan-feng, SONG Bao-feng. Logistics and Transport Packaging Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2014.
- [17] 胡飞. 论瓦楞纸在陶瓷包装中的运用——以“碗居中式餐具”包装设计为例[D]. 南京: 南京师范大学, 2014.
HU Feng. Discussion of Application of Corrugated Paper in Ceramic Package: A Case Study on the Packaging Design of Bowl in Chinese Tableware[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2014.
- [18] 骆光林, 卢立新. 包装材料学[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2011.
LUO Guang-lin, LU Li-xin. Packaging Materials[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2011.
- [19] 吴萍, 高铭悦. 易碎品容器的瓦楞纸板包装设计研究[J]. 包装工程, 2015, 36(1): 74—79.
WU Ping, GAO Ming-yue. Packaging Design of Corrugated Paperboard for Fragile Container[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(1): 74—79.
- [20] 陈菲菲. 瓦楞夹层结构等效弹性常数研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
CHEN Fei-fei. Reserch of Equivalent Elastic Constant of Corrugated Board[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2010.
- [21] 王新春, 马大为, 庄文许, 等. 某空投装备在不同缓冲装置下的冲击响应分析[J]. 包装工程, 2013, 34(13): 47—51.
WANG Xin-chun, MA Da-wei, ZHUANG Wen-xu, et al. Impact Response Analysis of Airdrop Equipment with Different Buffer Device[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(13): 47—51.