

鸡蛋安全快递包装结构设计

胡万晓¹, 葛笑¹, 姜文剑², 彭国勋³, 李晓刚¹, 苟进胜¹

(1.北京林业大学, 北京 100083; 2.北京策运包装科技有限公司, 北京 101100;

3.陕西科技大学, 西安 710021)

摘要: **目的** 设计一种适用于小批量多批次运输的鸡蛋快递安全缓冲包装。**方法** 通过经典的缓冲包装六步法, 设计拉伸形式的缓冲结构, 计算了缓冲垫的面积与厚度, 对包装件进行了强度校核, 并根据 ISTA 3A 标准对包装件进行了跌落与随机振动试验, 以验证包装件的缓冲效果。**结果** 对 5 箱鸡蛋进行了不同面跌落、楞跌落和角跌落的 3 组重复测试, 结果表明其破损率远远低于目前市场上的鸡蛋缓冲包装的破损率 (10%), 具有良好的保护效果; 随机振动试验显示, 缓冲包装中鸡蛋无一破损。**结论** 该结构具有良好的缓冲性能, 能保证鸡蛋在快递运输环境下得到有效保护, 具有较好的应用前景。

关键词: 鸡蛋; 缓冲包装; 结构设计; 安全快递

中图分类号: U294.27+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)23-0130-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.23.019

Packaging Structural Design of Egg Safe Express

HU Wan-xiao¹, GE Xiao¹, JIANG Wen-jian², PENG Guo-xun³, LI Xiao-gang¹, GOU Jin-sheng¹

(1.Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2.Beijing Cheyun Packaging Technology Co., Ltd., Beijing 101100, China; 3.Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: This paper aims to design a safe cushioning package for eggs express delivery, which is suitable for small batch and multi-batch transportation. In order to verify the cushioning effect of packages, the area and thickness of cushion pads were calculated by the classical six-step cushioning packaging method, and the stretching cushioning structure was made. The strength of packages was checked by the formula, and the drop and random vibration tests of packages were carried out according to ISTA 3A standard. The results of 3 groups of repeated tests on different falling faces, edges and angles of 5 boxes of eggs showed that the breakage rate was much lower than the 10% breakage rate of cushioning packages on the market, which had good protection effect. Random vibration test showed that there were no eggs in cushioning packages. Finally, it is concluded that the safe express packaging of eggs designed in this paper has good cushioning performance, can ensure that eggs are effectively protected under the transportation of express logistics. It has good application prospects.

KEY WORDS: egg; cushion packaging; structural design; safe delivery

近年来, 物流业处于迅速发展阶段, 传统的大批量集装化运输方式正逐渐转变为小批量运输。为保证

小批量产品运输过程中的完整性, 需对其运输包装结构进行合理化设计。鸡蛋作为一种日常食物, 是优质

收稿日期: 2019-04-03

作者简介: 胡万晓 (1993—), 女, 北京林业大学硕士生, 主攻包装结构与设计。

通信作者: 苟进胜 (1979—), 男, 博士, 北京林业大学副教授, 主要研究方向为包装废弃物资源化利用和计算机技术在包装领域的应用。

蛋白质的主要来源之一，具有极高的营养价值^[1]。传统的鸡蛋销售方式以散称和纸浆模塑托盘包装为主。为保证鸡蛋的新鲜程度，小批量网络购买形式越来越普遍。鸡蛋以快递方式直接从工厂到达消费者手中，但目前还未得到广泛推广，究其原因是还未设计出合理的缓冲包装结构。鸡蛋包装设计过程中应注意 4 个基本要求：保护性，即减小冲击与振动等传递到产品上，将破坏因素降到最低；经济性，目前市场上鸡蛋的快递包装存在浪费材料、成本较高的弊端，本设计旨在提高包装本身的经济性；便性，即缓冲包装结构应具有装箱操作简单、便于机械化的特点；环保性，即包装结构要绿色环保，废弃后可降解或可回收利用。

目前关于鸡蛋小批量运输包装有一些研究。姜鲁萌等^[2]在对鸡蛋流通环境数据采集及鸡蛋的冲击与振动试验基础上，利用缓冲包装六步法设计了鸡蛋的缓冲衬垫及包装结构，并进行了跌落试验，但由于包装结构本身未对产品形成有效约束，保护效果不佳。常江等^[3]利用 Ansys 有限元分析软件对缓冲包装结构在 0.6 m 的跌落高度下进行了角跌落仿真模拟分析，结果显示，包装件与地面接触瞬间等效应力最大为 0.784 MPa，远小于所选瓦楞纸板的极限应力，危险点的加速度也小于鸡蛋本身的脆值，仿真模拟实验虽减小了产品的浪费，但现实流通环境中不可控因素的影响不可忽略。王育桥^[4—5]通过研究缓冲包装材料的厚度与弹性模量，对鸡蛋跌落的缓冲特性进行试验分析，通过对数据分析，建立了回归方程并与曲线拟合，结果表明缓冲时间与厚度呈正相关，而与弹性模量呈负相关。建议在合适的条件下，选用弹性模量较小的材料设计合适的包装结构，对设计具有指导性的意义。根据以上研究，可总结出结构设计、缓冲设计以及包装设计都很重要，因此文中设计对于鸡蛋的安全快递包装设计考虑较全面，可有效保护小批量鸡蛋的运输。

1 设计方法与要求

在流通环境过程中，缓冲包装可以减少冲击与振动以保护产品。本设计严格按照缓冲包装设计六步法^[6]对鸡蛋的快递包装结构进行设计。彭国勋等^[7]通过鸡蛋的实测数据，运用已知动态缓冲曲线的 EPE 材料和具有合适弹性模量的瓦楞纸板制作了缓冲包装。文中在此基础上，着重在缓冲衬垫的尺寸和厚度计算上进行研究，从而优化鸡蛋的缓冲包装结构。

2 缓冲包装设计

2.1 流通环境的确定

产品在流通运输过程中，破坏力主要来源于冲击

与振动^[8]。冲击与振动是很复杂的随机过程，受运载工具、路况等多方面因素的影响。据了解，公路、铁路运输时所产生的冲击加速度在 0.1g~1.6g 之间；公路运输振动能量主要分布在 0~200 Hz 范围内，在 0~50 Hz 范围能量最集中。另外，野蛮装卸在快递运输行业是个不可忽视的因素。根据姜鲁萌^[2]等所做的试验，以日照-上海的路线对包装件进行数据采集，结果显示跌落高度多在 0~30 cm 范围内，40~100 cm 的频率较低，但 60, 80, 100 cm 的跌落高度也会发生。最后，根据 ISTA 3A 2008^[9]选定跌落次数最多的 46 cm 为跌落高度进行实验。

2.2 产品特征的分析

2.2.1 鸡蛋外形尺寸分析

鸡蛋外形呈椭球状，一头大一头小，这里称大头为钝端，小头为锐端，在钝端蛋壳内部有气室结构^[3]。试验对象为某养鸡场生产的鸡蛋，其基本信息见表 1。

表 1 鸡蛋尺寸数据
Tab.1 Dimensions of eggs

类型	宽度/mm	长度/mm	质量/g	长宽比
最小值	39.7	43.7	43.0	1.1
最大值	43.0	58.2	55.0	1.4
平均值	41.8	54	50.2	1.3
标准差	0.88	2.78	3.02	0.06
平均误差	0.16	0.52	2.28	0.01
误差范围	0.33	1.06	3.08	0.02
置信下限	41.5	53.0	47.0	1.3
置信上限	42.1	55.1	53.0	1.3

2.2.2 鸡蛋脆值的确定

包装件受流通过程中内外因素的影响而产生损坏的特性称为包装件的易损性，定量描述这种特性的量值称为脆值^[6]。近年来，国内外学者对鸡蛋的破损机理进行了各种研究^[10]，结果表明在同样的贮存时间内鸡蛋的质量损失率、哈氏单位、蛋黄粘壳情况等指标，均是钝端朝上的摆放方式优于锐端朝上或横放方式。

试验采用 DY-2 型综合包装冲击试验机测定鸡蛋脆值，测试系统包括试验台、电控箱和数据采集与处理系统等。根据标准^[11]中的试验操作步骤，对鸡蛋钝端朝上、锐端朝上和横放 3 种摆放方式，分别测量 28 次，经过对脆值数据的统计，结果显示数值差距较大，经过计算平均值得出，钝端朝上脆值为 36.7g，锐端朝上的脆值为 38.2g，鸡蛋横放时的脆值为 36.0g。根据前面各项指标结果，文中试验鸡蛋摆放方式选择钝端朝上，即在后续缓冲结构设计过程中，鸡蛋的放置方式为钝端朝上，脆值为 36.7g。

2.3 包装材料的选择

缓冲包装材料可大致分为纸类和塑料缓冲包装材料^[12]。其中,塑料缓冲包装材料主要有发泡聚苯乙烯(EPS)、发泡聚乙烯(EPE)、发泡聚丙烯(EPP)、发泡聚氨基甲酸酯(EPU)、乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)等。各塑料材料的性能对比见表2。

表2 塑料缓冲材料性能对比
Tab.2 Comparison of plastic cushion materials in performance

材料	缓冲性能	压缩刚度	撕裂强度	戳穿韧性	耐溶剂侵蚀	原料成本
EPS	一般	好	差	差	好	优
EPE	好	差	一般	一般	好	一般
EPP	好	一般	好	优	好	差
EPU	优	很差	一般	一般	好	很差
EVA	好	一般	优	优	优	很差

缓冲包装材料要能起到很好的分散作用,减小传递到产品上的冲击、振动,达到保护产品的表面与整体的作用。由于快递包装运输环境的严苛性,在综合了原料成本等因素后,选用了密度为 18 kg/m^3 的 EPE 作为缓冲衬垫材料, E 型瓦楞纸板制作 0201 型外箱。

2.4 缓冲包装结构的确定

在鸡蛋缓冲包装衬垫的设计中,首先考虑包装结构抵抗冲击与减小振动的能力,以有效减缓产品在流通环境中冲击与振动载荷给产品造成的损伤。同时,尽量减小此过程中使鸡蛋形成微裂纹而造成微生物入侵的风险。其次应考虑产品的固定情况,若达不到有效固定,产品还是会在缓冲结构中发生碰撞,达不到保护产品的目的。

2.4.1 缓冲垫厚度与面积

考虑到鸡蛋的脆值与本身强度均较小,因此科学地计算缓冲衬垫与接触面积尤为重要。产品的包装件大多数都是非线性系统,衬垫在受到冲击和振动时的压力变形曲线非常复杂,在求解加速度时间函数时需要合适的处理方法,目前国内普遍利用静态缓冲曲线($C-\sigma_m$ 曲线)与动态缓冲曲线($G_m-\sigma_{st}$ 曲线)2种方法来设计。文中采用的缓冲衬垫的尺寸主要由材料的峰值加速度-静应力曲线来设计, $G_m-\sigma_{st}$ 曲线是由动态压缩试验得到的一种表示材料缓冲性能的曲线^[13],动态缓冲曲线都呈现凹型且只有一个极值点。对于同一跌落高度,峰值减速度随缓冲衬垫厚度的增加而增加,且极值点逐渐向静应力增大的方向移动。对于同一种结构的缓冲衬垫,随着跌落高度的增加,峰值加速度的最小值明显减小^[14]。

密度为 20 kg/m^3 的 EPE 在跌落高度为 45 cm,对应缓冲衬垫厚度为 2, 3, 4, 5, 6 cm 时,某生产商提供的峰值加速度-静应力曲线见图 1。

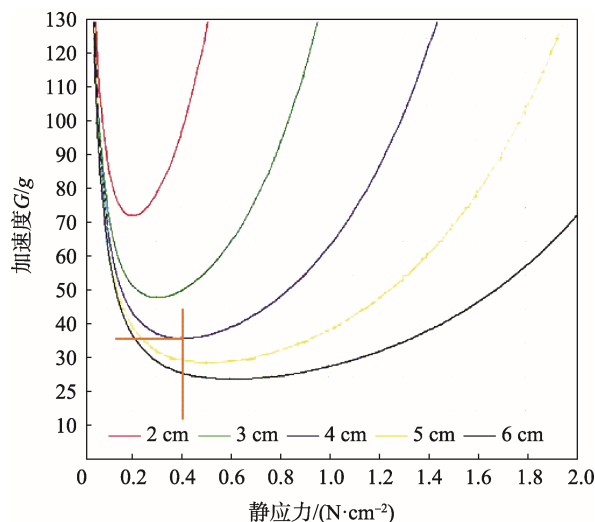


图1 密度为 20 kg/m^3 的 EPE 材料的峰值加速度-静应力曲线

Fig.1 Peak acceleration-static stress curve of EPE material with a density of 20 kg/m^3

鸡蛋钝端朝上时脆值最小,为 $36.7g$,在图2中画一条 $G=36.7g$ 的直线与 $S=m/A=0.042 \text{ kg/cm}^2$ 在曲线谷底相交,利用内插值法可求缓冲垫厚度 $t=39 \text{ mm}$ 。

由 $S=m/A$ 可知,缓冲衬垫的面积为 1195 mm^2 。

2.4.2 缓冲包装设计

根据 GBT 8166—2011^[15]进行缓冲包装设计,缓冲垫往往根据产品的形状而定,而不是简单的长方体结构,因此在结构设计时,使用的面积是等效面积 A_e , A_e 可按冲击变形量相同的原理进行计算。

当质量为 m 的产品以加速度 G 冲击缓冲垫时,动载荷 $P=mG$ 。对于缓冲垫 y 处的一薄片材料而言,其面积为 A_y ,那么其动应力为:

$$\sigma_m = \frac{P}{A} = \frac{mG}{A} = E \frac{dx}{dy} = E \varepsilon_m \quad (1)$$

式中: σ_m 为静应力 (Pa); P 为动载荷 (N/m); A 为缓冲衬垫面积 (mm^2); m 为质量 (kg); G 为脆值; A_y 为薄片面积 (mm^2); E 为缓冲材料的弹性模量 (Pa); dx 为薄片的变形量; ε_m 为应变。

由式 (1) 可得:

$$dx = \frac{mG}{EA_y} dy \quad (2)$$

对式 (2) 两边同时积分可知:

$$\int_0^x dx = \int_0^t \frac{mG}{EA_y} dy \quad (3)$$

缓冲衬垫的总变形量 $x = \frac{mG}{E} \int_0^t \frac{1}{A_y} dy$ 。当缓冲衬

垫为长方形时, 缓冲面积 A 为常量, 则 $x=mGt/EA$ 。当缓冲衬垫为异形时, 产品的等效面积为 A_e , 由冲击变形量相同则有:

$$A_e = \frac{t}{\int_0^t \frac{1}{A_y} dy} \quad (4)$$

其中半硬质发泡塑料的弹性模量 E 在 70~700 kPa 之间, 即缓冲衬垫的变形量在 0.013~0.13 mm 之间, 远小于缓冲衬垫的厚度, 不会有触底的危险, 完全满足缓冲要求。

2.4.2.1 上下面缓冲结构设计

若采用全面缓冲包装方式, 需要对整个产品进行包装, 缓冲包装面积远大于计算出的 1195 mm², 且曲面加工工艺复杂, 还增加了缓冲材料的成本, 因此, 选用局部缓冲包装的方式, 对鸡蛋两端面进行保护, 衬垫示意图见图 2。

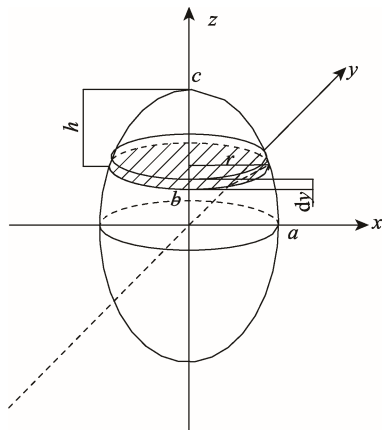


图 2 鸡蛋衬垫示意

Fig.2 Schematic of cushion for an egg

若将鸡蛋看作一个规则的椭球形状, 其方程为式 (5), 其中 a 为 21, b 为 21, c 为 27。

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad (5)$$

将式 (5) 代入式 (4) 中得 $h=13$ mm, 即 $r=x=13$ mm。

缓冲衬垫由拉伸的支撑垫和底垫组成, 易成型的 EPE 通过拉伸的方式形成与鸡蛋横切面相切的正方形, 鉴于此种缓冲包装方式中产品与缓冲垫未完全接触, 提出修正系数 K 来修正缓冲垫孔径 r 的大小, 即加工尺寸 r_z , 如式 (6):

$$r_z = Kr \quad (6)$$

式中: r_z 为孔径加工尺寸 (mm)。其中 $K=1.3$, 即 $r_z=17$ mm。

2.4.2.2 侧面缓冲包装结构的设计

在快递行业中, 产品运输环境严苛, 各方位的冲击振动和不同高度及角度的跌落都会对产品造成一定的破坏。产品不仅会受到侧面冲击力的影响, 内部

挤压也可能对产品造成破坏。将产品放于四周中空的结构内, 可对产品形成全方位的防护。拉伸垫 2 个中空结构之间的宽度 h 取 10 mm 即可实现对产品侧面的保护。另外, 左右两侧也有半个中空结构对产品进行缓冲。在瓦楞纸箱与 EPE 串联的缓冲保护下, 运输过程中冲击与振动造成的破坏可得到有效缓解; 产品放于四周中空的结构内, 也降低了快递装卸过程中侧面触底的风险, 其结构见图 3。

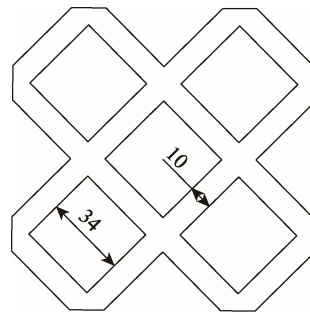


图 3 单个产品缓冲包装示意

Fig.3 Schematic of cushion package for individual egg

综上所述, 缓冲衬垫由相互对称的支撑垫与底垫组成, 其中支撑垫以拉伸的方式形成与鸡蛋尺寸相近的孔状, 相比传统的模切法, 可以节省材料、降低成本。缓冲包装衬垫结构见图 4, 在对应位置模切形成透气圆孔, 以保证鸡蛋在流通过程中的透气性。支撑垫与底垫由热熔胶粘接, 上下两部分以扣合的方式将产品保护在内, 将其装入 0201 型瓦楞纸箱, 可形成完整的缓冲包装结构。整体包装结构见图 5, 缓冲包装结构渲染见图 6, 缓冲包装结构造型见图 7。

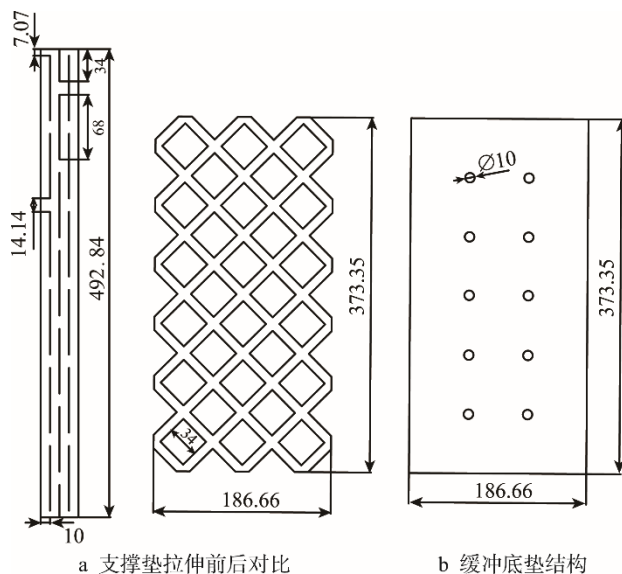


图 4 缓冲衬垫

Fig.4 Cushion liner

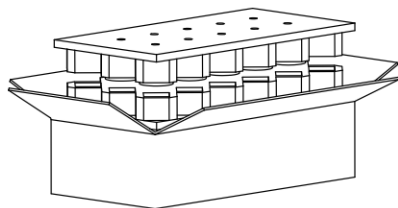


图5 鸡蛋缓冲包装装箱示意
Fig.5 Schematic of cushion package for eggs



图6 缓冲包装结构渲染图
Fig.6 Rendering of cushion packaging structure

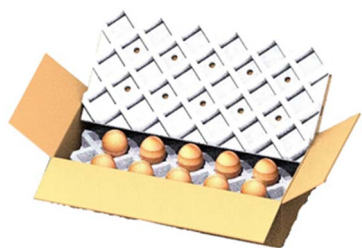


图7 缓冲包装结构造型
Fig.7 3-D modeling of cushion packaging structure

运用相同的设计方法,可在10枚装的设计基础上拓展为12枚装、20枚装等,也可在10枚装的缓冲衬垫上方放置第2层鸡蛋,以形成不同的产品规格。

2.4.3 压缩与弯曲强度的校核

产品冲击时产生的最大应力 σ_m 不应超过缓冲材料的许用应力 $[\sigma]$ 。已知 EPE 缓冲材料的最小许用应力为 0.28 MPa, 远大于最大应力 0.16 MPa。

同时,若缓冲材料的面积与厚度不满足克斯特拉经验公式,缓冲包装会发生弯曲变形,引起应力,加大破坏。将缓冲面积与缓冲垫厚度代入式(7)可知,该设计满足弯曲强度的校核。

$$A_{\min} > 1.33t^2 \quad (7)$$

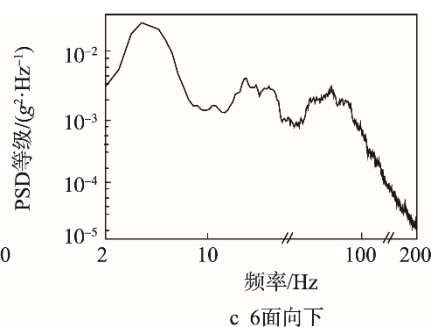
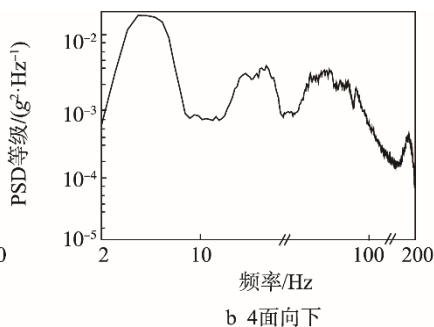
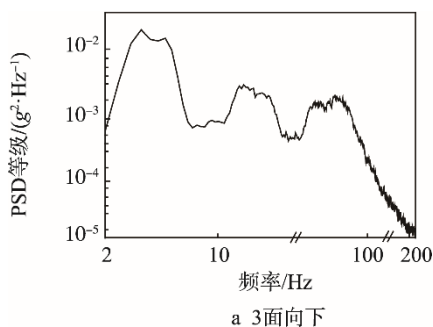


图9 动态载荷随机振动响应谱

Fig.9 Random vibration response spectrum under dynamic load

3 包装件的性能测试

为保证缓冲性能,依据标准 ISTA 3A 进行自由跌落试验。ISTA 3A 为一般模拟试验标准,是最常用且与实际运输环境最相吻合,得到多数企业认可的标准^[16]。此试验目的是评价缓冲包装结构受到垂直方向冲击时对鸡蛋的保护能力^[17]。随机选取5箱鸡蛋进行编号,分别为A, B, C, D, E。依据 ISTA 3A 标准对每个包装件进行不同面跌落、楞跌落和角跌落试验,未破损情况下共进行3组重复实验,5箱鸡蛋均如上重复测试,鸡蛋损坏情况见表3。实验表明,包装件内鸡蛋破损率远小于目前市场上的10%的破损率,该缓冲包装结构具有良好的缓冲性能,可在鸡蛋的运输中起到保护作用。

表3 包装件性能测试实验数据记录

Tab.3 Experimental data of packaged eggs in performance test

序号	A	B	C	D	E
第1组	0	0	0	0	0
第2组	0	0	0	0	0
第3组	0	1	2	0	1

为模拟包装件在实际运输与装卸过程中各种振动对产品完整性的影响,采用公路拖车与车辆配送2种激励谱进行动态载荷随机振动试验,对包装件的3, 4, 6面进行测试,包装件标示示意图见图8。利用非动态载荷随机振动试验对上述三面进行测试,不同激励谱下包装件的振动响应谱见图9和10。由图9和10可知该结构的振动响应谱与振动激励谱变化趋势一致,具有良好的抗振能力。

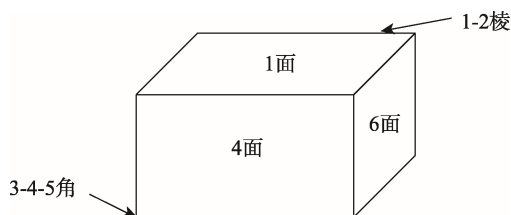


图8 包装件标示示意图

Fig.8 Schematic diagram of the package

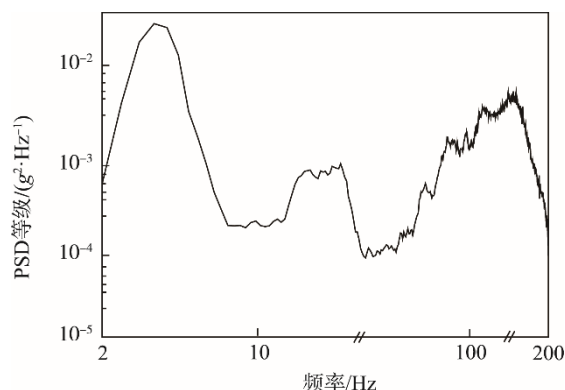


图10 非动态载荷随机振动响应谱

Fig.10 Random vibration response spectrum under Non-dynamic load

4 结语

文中对鸡蛋安全快递的包装结构进行设计,对包装材料和结构进行了合理的计算与校核,并进行了性能测试以验证该结构的保护性和合理性。经过对5箱使用本缓冲结构设计的包装件进行不同面跌落、楞跌落和角跌落的3组重复试验,结果显示破损率远远低于目前市场上10%的破损率,具有良好的保护效果;且随机振动试验显示,缓冲包装中的鸡蛋无一破损,表明该结构具有良好的防振缓冲性能,可使鸡蛋在物流运输环境下得到有效保护,具有一定的推广价值。

参考文献:

- [1] 唐修君,高玉时,葛庆联,等.不同鸡种鸡蛋品质及营养成分比较研究[J].家畜生态学报,2014,35(1): 35—38.
TANG Xiu-jun, GAO Yu-shi, GE Qing-lian, et al. Comparative Study on the Egg Qualities and Nutrient Content of Different Layer Breeds[J]. Acta Ecologicae Animalis Domastici, 2014, 35(1): 35—38.
- [2] 姜鲁萌,鲍文强,赵霞,等.鲜鸡蛋的缓冲兼销售包装设计[J].包装工程,2016,37(17): 123—128.
JIANG Lu-meng, BAO Wen-qiang, ZHAO Xia, et al. Cushioning and Sales Packaging Design for Fresh Egg[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(17): 123—128.
- [3] 常江,巩雪,李丹婷,等.鸡蛋缓冲包装设计及其力学性能分析[J].包装工程,2018,39(3): 55—58.
CHANG Jiang, GONG Xue, LI Dan-ting, et al. Design and Mechanical Properties of the Cushioning Packaging of Egg[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(3): 55—58.
- [4] 王育桥.缓冲材料弹性模量对鸡蛋冲击特性的影响研究[J].现代农业装备,2014(3): 26—29.
WANG Yu-qiao. The Study of the Influence of the Elastic Modulus of the Cushion Materials on the Dropping Impact Characteristic of the Egg[J]. Modern Agricultural Equipment, 2014(3): 26—29.
- [5] 王育桥.缓冲材料厚度对鸡蛋冲击特性的影响研究[J].农业科技与装备,2012(12): 16—18.
WANG Yu-qiao. Study on the Influence of the Thickness of Cushioning Material on the Impact Characteristics of Eggs[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2012(12): 16—18.
- [6] 彭国勋,郭彦峰,舒祖菊,等.物流运输包装设计(第二版)[M].北京:印刷工业出版社,2012.
PENG Guo-xun, GUO Yan-feng, SHU Zu-ju, et al. Packaging Design of Logistical Transportation Package(2nd Edition)[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012.
- [7] 彭国勋,姜文剑,苟进胜,等.鸡蛋的安全快递缓冲包装结构[J].上海包装,2017(10): 29—32.
PENG Guo-xun, JIANG Wen-jian, GOU Jin-sheng, et al. Safety Buffer Packaging Structure of Eggs[J]. Shanghai Packaging, 2017(10): 29—32.
- [8] 许文才,向明.连续冲击载荷对包装产品的影响[J].振动与冲击,2001,20(3): 26—28.
XU Wen-cai, XIANG Ming. Influence of Bump Load on Packed Products[J]. Journal of Vibration and Shock, 2001, 20(3): 26—28.
- [9] ISTA 3A 2008, Packaged-Products for Parcel Delivery System Shipment 70 kg (150 lb) or Less[S].
- [10] 黄炎坤,杨朋坤,李双慧,等.摆放方式对鸡蛋贮存期间物理性状的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2018(6): 62—64.
HUANG Yan-kun, YANG Peng-kun, LI Shuang-hui, et al. The Effect of Placement on Physical Properties of Eggs during Storage[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2018(6): 62—64.
- [11] GB/T 8171—2008, 使用缓冲包装材料进行的产品机械冲击脆值试验方法[S].
GB/T 8171—2008, The Product Mechanical Impact Brittleness Test Method Using Buffer Packaging Materials[S].
- [12] 王建清.包装材料学[M].北京:中国轻工业出版社,2009.
WANG Jian-qing. Packaging Materials Science[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2009.
- [13] 薛琼,费伟民,滑广军,等.戴尔笔记本电脑缓冲包装设计[J].包装工程,2015,36(21): 43—46.
XUE Qiong, FEI Wei-ming, HUA Guang-jun, et al. Cushion Packaging Structure Design for Dell Notebook[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(21): 43—46.

- [14] 郭彦峰, 许文才, 付云岗, 等. 双瓦楞纸板衬垫结构的动态缓冲特性分析[J]. 包装工程, 2008, 29(4): 7—9.
GUO Yan-feng, XU Wen-cai, FU Yun-gang, et al. Analysis of Dynamic Cushioning Property of Double-wall Corrugated Paperboard Cushions[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(4): 7—9.
- [15] GBT8166—2011, 缓冲包装设计方法[S].
GBT8166—2011, Design Method for Buffer Packaging[S].
- [16] 刘杨, 张惠忠. 运输包装测试的应用及案例分析[J]. 上海包装, 2016(6): 19—20.
LIU Yang, ZHANG Hui-zhong. Application and Case Analysis of Transportation Packaging Test[J]. Shanghai Packaging, 2016(6): 19—20.
- [17] 裴朵. 鲜鸡蛋运输结构包装设计研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2014.
PEI Duo. The Structure Design of the Packing For Express Fresh Eggs[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2014.