

禽蛋聚氯乙烯弹性薄壁包装盒的设计与力学特性试验

张融, 王树才^{*}, 梅志敏

(华中农业大学工学院, 武汉 430070)

摘要: 为了降低禽蛋运输破损率, 优化禽蛋包装结构, 该文分析了中国禽蛋运输包装与分级现状, 应用力学理论设计新型聚氯乙烯(PVC, polyvinyl chloride), 弹性薄壁禽蛋包装盒, 利用质构仪测试比较当前流通蛋盒和新设计蛋盒空载和满载时的力学特性, 分析包装在运输中禽蛋破损率随装载数量、载荷、位移和加载时间等影响因素的变化规律, 检验包装盒对禽蛋的保护性能, 测试包装盒的保护效果, 然后对产品进行成本分析。结果表明: 1) 设计盒侧壁结构, 当前流通 PVC 包装盒承受载荷为 80~100 N, 新型 PVC 包装盒承受载荷分别为 90~130 N, 新结构抗压能力增强; 2) 装载鸡蛋数量越多, 整体抗载能力增强, 满盒时抗载能力最大; 3) 与当前流通中同类型 PVC 包装盒比较, 使用新 PVC 结构包装盒, 禽蛋运输破损率降低了 0.72%。该文通过包装盒的理论分析、试验验证, 获得较佳禽蛋包装盒结构形式, 通过成本比较, 表明禽蛋新包装可以降低禽蛋破损率, 减少成本。研究结果为禽蛋缓冲包装设计机理打下理论基础, 为蛋品包装提供了设计方法和试验途径。

关键词: 包装; 力学特性; 试验; 禽蛋; 破损力

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.07.035

中图分类号: S667.1; O242

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-07-0252-06

张融, 王树才, 梅志敏. 禽蛋聚氯乙烯弹性薄壁包装盒的设计与力学特性试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(7): 252-257. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.07.035 <http://www.tcsae.org>

Zhang Rong, Wang Shucui, Mei Zhimin. Design of PVC elastic thin wall packing box for eggs and experiment of its mechanical property[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(7): 252-257. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.07.035 <http://www.tcsae.org>

0 引言

中国是世界禽蛋产量最多的国家, 主要禽蛋品种有鸡蛋、鸭蛋、鹌鹑蛋、鹅蛋等。禽蛋营养丰富、烹饪便捷, 深受消费者喜爱。随着禽蛋行业产业链集约化产销体系的建立, 逐步实现了禽蛋生产、加工与销售一体化经营, 机械化是畜禽产业链规模化的基础^[1]。据《中国养殖业可持续发展战略研究》统计, 2010年中国禽蛋产量达到2762.7万t, 该项目组根据1978-2010年中国城乡居民人均禽蛋年占有量, 建立趋势方程, 预测2030年禽蛋总产量达到3324万t, 其中禽蛋产量主要由鸡蛋构成, 鸭蛋第二, 鸡蛋年产量2800万t, 鸭蛋376万t。禽蛋产值已达3000亿元, 占世界总产量的43%。2009年中国鲜蛋出口量仅13.5万t, 出口额为1.07亿美元^[2]。调查研究表明, 禽蛋从养殖地到消费者手中, 要经过收集、加工、包装等流通环节, 其过程的总损耗占蛋类消费总量的10%, 禽蛋是易破损产品, 产品的运输装卸过程是产生破

损的主要原因, 破蛋容易滋生微生物, 污染其他禽蛋。国内每年禽蛋破损200多万t, 经济损失达100多亿元^[3-9]。剑桥大学用吸能材料纯铝薄板冷轧制作无盖禽蛋托, 表面覆塑料薄膜增加摩擦力^[10], 还对塑料蛋盒平头墩形薄壁模具的不同设计角度进行了破坏性试验^[11], 目的是设计无盖优质结构蛋托; 美国学者为防止沙门氏菌对仓库存放禽蛋污染, 对6×5塑料蛋托仓库存放强制风冷技术影响因素进行了分析研究^[12]。美国农业部比较了10种常用的泡沫聚苯乙烯盒和纸浆蛋盒蛋盒的保护能力, 结果表明泡沫聚苯乙烯盒内的蛋壳损坏程度显著大于各种纸浆蛋盒内的蛋壳损坏程度^[13]。中国禽蛋企业对不同包装方式塑料筐、蛋盘、蛋托、纸箱、塑料盒进行货车运输试验, 结果表明纸箱加蛋盒的包装方式较好, 但是该结果仅用于企业内部运输模式的改进, 暂未进入理论研究; 中国学者尝试采用B型瓦楞板进行鲜鸡蛋缓冲包装设计改进, 或为了减少鲜蛋破损和散黄研制了充气缓冲运输箱^[14-16], 或比较瓦楞纸板浆制备蛋盒和小米草复配化学浆料制备蛋盒的承载性能等^[17]。总之, 禽蛋类易碎农产品运输内包装盒国内外研究不深入, 主要原因有3个: 一是消费习惯及水平, 一般城镇居民仍习惯在菜市场购买散装蛋; 二是禽蛋市场价有时低于成本价, 影响商家对禽蛋包装的改进; 三是蛋盒设备投资大、生产工艺复杂, 企业尚未完全掌握相关技术。包装产品最终质量主要取决于储藏与流通的时间、温度、缓冲包装和产品耐藏性, 就蛋盒的保护能力而言, 结构设计比材料选择更加重要。

本课题以禽蛋运输内包装盒为研究对象, 选择缓冲

收稿日期: 2015-10-20 修订日期: 2015-11-19

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项项目(201303084); 湖北省公益性科研项目(GYN0090); 中央高校基本建设项目(2012MBDX003); 优秀博士学位论文培育基金项目2013。

作者简介: 张融, 女, 湖北武汉人, 华中农业大学工学院教授, 博士, 主要从事农业机械化与自动化工程研究。武汉 华中农业大学工学院, 430070。

Email: zrong@webmail.hzau.edu.cn

*通信作者: 王树才, 男, 湖北武汉人, 华中农业大学工学院教授, 博士生导师, 主要从事农业机电一体化研究。武汉 华中农业大学工学院, 430070。Email: wsc01@mail.hzau.edu.cn

包装材料, 优化设计结构, 进行力学特性分析, 以期早日实现禽蛋类易碎农产品长途运输无破损。

1 禽蛋包装、分级方法与设计标准

1.1 中国禽蛋运输包装与分级现状

禽蛋包装的目的是保护禽蛋不受损伤, 便于运输、储藏、销售和携带。禽蛋包装按其使用领域可分为运输包装和销售包装。运输包装是为了降低运输流通过程对产品的损坏, 保障产品安全, 方便储运装卸, 加速交接点验等。销售包装又称内包装或小包装, 是直接接触禽蛋并随商品进入零售网点和消费者或用户包装。禽蛋的流通模式主要有 2 种, 包装蛋和散装蛋。包装蛋的流通模式为: 农场、分级→清选→涂蜡→喷码→检测→包装、销售商、消费者; 散装蛋的流通模式为: 养殖户、收购商、产地批发商、销地批发商、销售商、消费者。禽蛋运输包装有外包装和内包装, 外包装主要是纸箱包装; 内包装有蛋托、蛋盒和纸格, 内包装主要用于远距离大批量运输, 也可以用做销售包装。通常无盖内包装称作蛋托, 有盖内包装称作蛋盒。

禽类品种繁多, 禽蛋大小形状区别明显, 禽蛋必须按标准分级, 行业内制定了各种分级标准, 如: NY/T1551-2007《禽蛋清选消毒分级技术规范》规定禽蛋按质量规格分级, 分级方法如表 1。该标准表明, 生产企业也可根据市场或客户需求, 按质量制定分级指标; 中国鲜鸡蛋出口, 分加工出口鸡蛋和冷藏鲜鸡蛋 2 类, 按检验发运质量分为特、超、大、一、二、三级 6 个级别, 特、超、大级每箱 300 枚净质量分别不低于 19.5、18、16.5 kg; 一、二、三级每箱 360 枚净质量分别不低于 18、16.2、14.4 kg; 国内有部分商家和企业将销售鸡蛋分大、中、小三类, ≥ 56.7 g 为大蛋; $\geq 49.6 \sim 56.6$ g 为中蛋; < 49.6 g 为小蛋。从禽蛋分级标准知, 国内分级标准尚未完全统一。

表 1 禽蛋质量分级标准
Table 1 Weight classification standard of egg

鸡蛋 Eggs		鸭蛋 Duck eggs	
级别 Level	每枚质量 Weight/g	级别 Level	每枚质量 Weight/g
一级 Class 1	≥ 65	一级 Class 1	≥ 75
二级 Class 2	$\geq 60 \sim 65$	二级 Class 2	$\geq 65 \sim 75$
三级 Class 3	$\geq 55 \sim 60$	三级 Class 3	$\geq 55 \sim 65$
四级 Class 4	$\geq 50 \sim 55$	四级 Class 4	< 55
五级 Class 5	$\geq 45 \sim 50$		
六级 Class 6	< 45		

禽蛋外包装箱及衬垫必须坚固、干燥、清洁、无霉、无异味, 纸箱底面钉牢(或胶牢)适于贮存、搬运、倒塌及运输。在近距离运输过程中, 国内大部分中小型禽蛋公司, 将禽蛋直接放置在纸箱中按照 360 枚一箱装箱, 批量上货, 直接送到市场, 即散装蛋的销售; 大型禽蛋企业一般用纸箱加禽蛋内包装运输。出口鲜鸡蛋采用纸板箱分级装箱, 内衬纸板格或蛋模, 每格(模)一蛋, 每层用瓦楞纸间隔, 每箱装蛋 300 或 360 枚。企业分级

包装盒依据禽蛋质量分为大、中、小三类, ≥ 55 g 及以上的使用大号包装盒, $\geq 50 \sim 55$ g 用中号, < 50 g 用小号, 标准亦各异。因禽蛋分级标准未完全统一, 禽蛋内包装的设计标准也不好制定, 故不能统一禽蛋外包装箱标准, 这个现象增加了禽蛋企业和纸箱企业的生产成本, 也增加了运输的成本和难度, 比如运输车辆选型和车辆调度等。

因此, 就中国禽蛋包装而言, 产业缺乏足够的重视导致包装标准不健全。从中国禽蛋出口量极低的现状可以看出, 控制指标日趋严格的国外包装标准已经成为中国禽蛋出口的壁垒, 行业急需完善的包装标准出台, 将禽蛋分级精细化, 统一内包装外形标准。

1.2 禽蛋内包装的设计标准

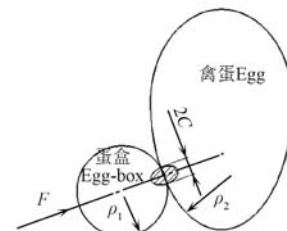
禽蛋内包装设计应遵循以下基本原则: 1) 标准化、系列化原则; 2) 多元化、专业化原则; 3) 科学化原则等。内包装首先必须满足国内市场的多元化需求, 其设计的主要依据为有关国家或行业标准, 如出口鲜蛋分级标准、运输标准、包装测试标准以及相关包装材料标准等。禽蛋内包装蛋盒和托盘材料有有机泡沫、塑料、纸浆等, 塑料蛋盒材料有聚氯乙烯(PVC, polyvinyl chloride)、聚苯乙烯(PS, polystyrene)等, 聚乙烯材料必须符合 GB9687-1988《食品包装用聚乙烯成型品卫生标准》, 其他材料符合其他相关标准。

2 禽蛋包装盒模型设计与有限元分析

2.1 PVC 包装盒设计理论

包装后的禽蛋盒在运输和装卸过程中, 外力对禽蛋包装产生冲击和挤压, 禽蛋在包装盒内与盒内壁接触, 禽蛋与蛋盒因相互挤压弹性接触产生局部应力和应变。此接触形式满足 Hertz 接触条件, 称为 Hertz 接触, 在本研究中, 需要作如下假设: 1) 接触系统由两个相互接触的物体组成, 即禽蛋与禽蛋包装盒, 两者之间不发生刚体运动; 2) 接触物体的变形是小变形, 接触点可以预先确定, 接触或分离只在两物体可能接触的相应点进行; 3) 应力、应变呈线性关系; 4) 接触表面充分光滑; 5) 不计禽蛋与蛋盒动摩擦影响。

禽蛋在包装盒内与盒内壁接触形式有外接触和内接触 2 种接触方式, 外接触形式如图 1。



注: σ_H 为禽蛋壳与包装盒内壁产生接触应力, MPa; F 为禽蛋盒受到的外部冲击和挤压力, N; C 为接触面半径, mm; ρ_1 为禽蛋曲率半径, mm; ρ_2 为蛋盒曲率半径, mm。

Note: σ_H is equivalent stress created by egg-shell and inner wall of egg-box, MPa; F is impact and extrusion force of egg-box, N; C is contact radius, mm; ρ_1 is radius of curvature of egg, mm; ρ_2 is radius of curvature of egg-box, mm.

图 1 禽蛋与蛋盒受力分析图

Fig.1 Theoretical analysis of contact forces

图1中, 禽蛋壳与包装盒的椭圆形接触区域, 为弹性半空间, 接触面上只作用垂直压力, 产生接触应力 σ_H MPa; 当蛋壳与包装盒内壁接触应力 σ_H 大于蛋壳强度极限应力 $[\sigma_N]$, 即 $\sigma_H > [\sigma_N]$ 时, 蛋壳就会破裂。

根据 Hertz Formula, 见式(1)

$$\begin{cases} \sigma_H(x) = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{6F(\frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2})}{1-\mu_1^2 + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}}} \\ \sigma = \sigma_H(x)_{\min} \end{cases} \quad (1)$$

式中 $\sigma_H(x)$ 为蛋壳与蛋盒的最大接触应力, MPa; σ 为不同结构蛋壳与蛋盒的最大接触应力, MPa; E_1 为禽蛋壳弹性模量, 3.0×10^4 MPa; E_2 为蛋盒材料弹性模量, 据材料定; μ_1 为禽蛋壳泊松比, 0.25; μ_2 为蛋盒材料泊松比, 据材料定。2物体外接触时选择“+”, 内接触时选择“-”。

接触面半径 C , mm, 计算式见式(2),

$$C = \frac{3F}{4} \sqrt{\frac{1-\mu_1^2 + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}}{\frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2}}} \quad (2)$$

根据蛋盒与禽蛋的接触方式, 可设计图2a和图2b不同的蛋盒侧壁结构, 内接触设计如图2a, 外接触设计如图2b。

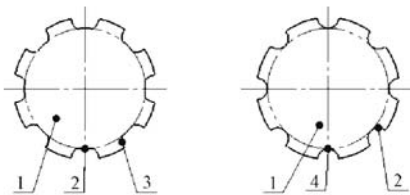


图2 禽蛋包装盒断面图
a. Sectional view of C6 b. Sectional view of X6

1. 禽蛋 2. 内切接触面 3. 包装盒内壁 4. 外切接触面
1. Egg 2. Inscribed contact face 3. Inwall of egg-box 4. Excircle Contact face

图2 禽蛋包装盒断面图
Fig.2 Cross section of egg-box

图2a结构, 蛋壳与禽蛋包装盒内壁呈内切形接触, 接触应力为 σ_{HC} ; 图2b结构, 蛋壳与禽蛋包装盒内壁呈外切形接触, 则其接触应力为 σ_{HX} , 设定禽蛋与禽蛋盒接触点的曲率半径分别为 ρ_1 、 ρ_2 , 根据(式1)比较2种禽蛋包装盒结构应力大小

$$\sigma_{HC} < \sigma_{HX}; \sigma_{HC} = \sigma_{\min} \quad (3)$$

选用图2a应力最小。

2.2 禽蛋包装盒有限元分析

选择相同材料, 加载大小、方向相同的载荷, 利用有限元方法比较两种结构的接触应力。几何建立2种蛋盒模型, 新型结构命名C6, 现有流通蛋盒结构命名为X6, 蛋盒分别采用图2a、图2b内壁结构。模型导入ANSYS软件, 进行静力学分析。

2种结构选择材料均为PVC, 在Y方向加相同载荷,

约束蛋盒底部, 得有限元分析结果如图3, 图3显示2种不同包装盒在相同载荷下的最大最小应力区间, C6的应力区间为 $[8.5255 \times 10^{-5}$ MPa, 40.267 MPa], X6的应力区间为 $[7.476 \times 10^{-5}$ MPa, 40.760 MPa], 因此, 禽蛋包装盒最大应力分别为:

$$\sigma_{HC\max} = 40.267 \text{ MPa},$$

$$\sigma_{HX\max} = 40.760 \text{ MPa},$$

$$\sigma_{HC\max} < \sigma_{HX\max}.$$

有限元计算结果与理论分析结果(式3)一致。

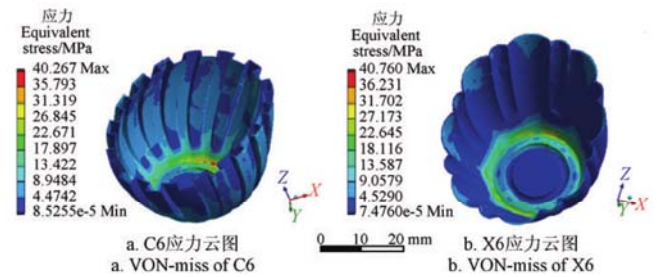


图3 不同包装盒应力云图

Fig.3 VON-miss of egg-box

2.3 禽蛋包装盒模型设计

禽蛋包装盒的设计要求: 1) 设计轻量化、薄型化; 2) 上、下结构能承受一定挤压和振动冲击; 3) 侧壁能经受一定的冲击; 4) 成本低, 适用于公路运输; 5) 设计表1鸡蛋三级 $\geq 55 \sim 60$ g的禽蛋内包装。

材料选用厚度0.37 mm的PVC薄板, 上下托盘之间设计禽蛋固定空间和支撑柱承载上方冲击, 底部设计缓冲结构承受来自下方的挤压和振动冲击, 蛋穴侧壁设计图2a型缓冲结构, 抵抗和承受侧壁的冲击载荷, 盒内径尺寸按禽蛋小头向下放置设计。根据禽蛋分级数据区间确定蛋孔曲率半径等结构参数后, 再确定包装物外形尺寸。

设计案例为6枚带翻盖禽蛋盒, 材料选用0.37mm \times 650 mm PVC新料, 其外形尺寸为149 mm \times 103 mm \times 71 mm, 模具尺寸为225 mm \times 155 mm, 版长1 195 mm, 如图4所示。图4a为C6新结构蛋盒, 图4b为当前流通X6蛋盒图, 两种结构的外形尺寸、制作材料相同, 不同点为蛋穴侧壁结构。根据图2a结构由华中农业大学工学院制作蛋盒模具, 包装公司成型PVC蛋盒应用于试验。

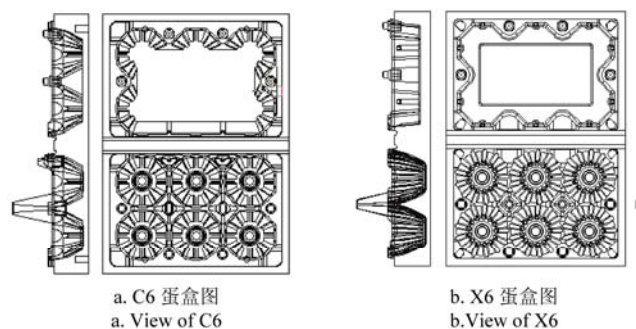


图4 不同蛋盒图
a. C6 蛋盒图 a. View of C6 b. X6 蛋盒图 b. View of X6

图4 不同蛋盒图
Fig.4 Dimensional figure of egg boxes

3 PVC 包装盒试验设计与分析

PVC 包装盒利用弹性薄板加工而成，禽蛋运输过程中，PVC 包装盒堆垛 8 层，放入纸箱中。纸箱内，下层包装盒体产生的弹性形变，要能承受上层禽蛋及包装的压力，才能保证禽蛋在运输中不破损。该试验是静载破坏性压力试验，试验台以 10.00 mm/s 的速度对 2 种类型 6 枚禽蛋 PVC 盒，代号分别 C6 和 X6，空盒和满盒加载，测量其禽蛋破裂曲线，检验比较包装性能。

3.1 试验设备与材料

试验用美国 FTC 公司的 TMS-PRO 分析仪，载荷 0~1 000 N，精度±1%；电子称；游标卡尺；禽蛋盒 C6、X6 蛋盒由东莞包装公司提供，罗曼白白壳鲜鸡蛋由湖北神丹健康食品有限公司提供。

3.2 试验方法

1) 挑选鸡蛋。挑选无破损罗曼白白壳鲜鸡蛋 500 个；2) 测量鸡蛋基本物理参数。测量白壳蛋的长轴、短轴、质量、蛋壳厚度等基本物理参数；3) 挑选蛋盒。选用 C6 蛋盒 80 个，X6 蛋盒 80 个分别按序编号；4) 装鸡蛋。编号 1-40 蛋盒不装鸡蛋，编号 41-80 的蛋盒，小头向下分别往蛋盒中装入检验完好的鸡蛋，不能漏装，2 类蛋盒做法一致；5) 选择“单次目标距离循环试验方法”程序预设参数。预设参数值为：测前、测中、回程速率分别为 50.00、10.00、100.00 mm/s，起始破裂力为 1.0 N，上升高度 15.00 mm，破裂百分比 50.00%，每次循环的目标位移 18.00 mm；6) 质构仪测量，记录相关测量参数，输出结果。

3.3 试验结果

鸡蛋的基本物理参数见表 2。

表 2 鸡蛋基本物理参数
Table 2 Physical parameter of eggs

项目 Item	长轴 Long axis/mm	短轴 Minor axis/mm	质量 Weight/g
最大值 Max	56.47	44.11	60.65
最小值 Min	52.88	41.03	55.01
平均值 Average	54.89	42.58	58.68

禽蛋盒正压力下空盒与满盒力与位移曲线如图 5，C6 样本在空载正压力状态下：1) C6 空载样本力-位移曲线第一个载荷峰值在位移 9 mm 处，承受载荷约 110 N，0~110 N 阶段处曲线光滑，图形基本呈线性，该处是包装设计支撑柱的屈服极限，包装盒塑性变形，包装损坏，对应曲线第 1 次波动产生峰值；2) C6 样本设计的拱形支撑结构在探头向下位移 9~12 mm 处，承受的载荷在 90~110 N 波动；3) 位移 18 mm 处，为设定的极限位置，探头返回，试验完毕。

C6 包装盒在满载正压状态下：1) 满盒蛋盒力-位移曲线上第 1 次载荷峰值在位移 3 mm 处，承受载荷约 170 N，该点是包装设计支撑柱的屈服极限。2) 曲线最大峰值，承受载荷 380 N 处，长轴最大鸡蛋的屈服极限；3) 其他峰值，依次鸡蛋破裂；4) 鸡蛋全部破裂后，压

力骤减，最后的峰值处为蛋盒外结构设计支撑，承受载荷约 330 N。C6 在满载正压状态下参数记录为：C6 起始破裂力为 84 N，起始破裂力时的位移为 9.95 mm，时间值 60.804 s，到起始破裂力时做功 0.49802 J，到最大峰值时做功 0.50168 J。

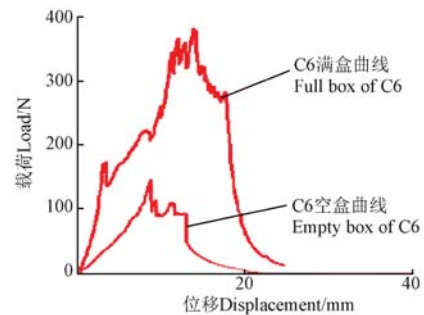


图 5 C6 包装盒不同状态下力-位移曲线
Fig.5 Load-displacement curve of C6

从 C6 满载正压曲线可以看出，支撑柱破坏后，下行 10~15 mm 位置，连续 6 个波峰后鸡蛋全部破裂，包装完全失去保护作用，探头继续下行，最后一个波峰处是由包装盒结构设计支撑形成，行程 18 mm 处，探头到达极限位置，压力逐步下降，探头返回。

经过仔细检查，满盒试验数据所用鸡蛋除了 2 枚没破裂，其余全部破裂。X6 空盒和满盒包装重复相同的试验。通过 C6、X6 禽蛋盒在空载、满载状态下的破坏性试验，结果表明：2 种包装盒支撑柱结构承受的载荷约 150~170 N；当前流通 X6 包装盒结构承受载荷范围为 80~100 N，新型 C6 包装盒结构承受载荷范围为 90~130 N。

虽然禽蛋存在个体差异，每组空包装盒和包装禽蛋在压力试验中获得的参数反映的规律不变。空盒压力试验可以反映包装盒的承载能力，满盒包装盒能检测模拟实际运输状态的禽蛋运输的承载现状。C6 空载的承载均值为 191.2 N，C6 满载承载均值为 387.5 N；X6 空载能承受的载荷均值为 145.3 N，满载承载均值为 298.2 N，见表 3。

表 3 禽蛋包装盒承载比较
Table 3 Static parameters of egg packaging

样本 Samples	X6 包装盒 X6 egg-box		C6 包装盒 C6 egg-box	
	空盒 Empty box	满盒 Full box	空盒 Empty box	满盒 Full box
承载均值 Average F/N	145.3	298.2	191.2	387.5

随机选择 5 组 3 项 C6/X6 满盒试验数据，在设定试验时间 109.1~109.4 s、位移 14.2~14.3 mm，C6/X6 禽蛋盒起始破裂力及其位移见表 4。

上述试验表明，与当前流通中蛋盒 X6 比较，C6 蛋盒承载能力较高，对禽蛋的保护能力较强。常温下，用 600 mm×310 mm×300 mm 纸箱装箱 2 种不同包装盒的禽蛋各 5 箱，每箱 48 盒，车内堆垛方式放置，福田卡车从武汉通过高速公路运输到达天津，在天津逐个检验禽蛋的破损率，C6 相对 X6 蛋盒破损率降低了 0.72%。

表4 禽蛋包装盒静载参数及标准偏差

Table 4 Static parameters and standard deviation of egg packaging

样本 Samples	X6 满盒 Empty box of C6			C6 满盒 Full box of C6		
	F1/N	U1/mm	T1/s	F2/N	U2/mm	T2/s
1	270.8	14.5	109.0	411.9	14.7	109.4
2	298.0	13.8	109.1	343.3	14.9	109.4
3	305.4	14.6	109.2	392.6	12	109.4
4	319.1	15.1	109.1	399.3	15.5	109.5
5	297.8	13.5	109.2	412.7	14	109.5
均值 Average	298.2	14.3	109.1	387.5	14.2	109.4
标准差 Std	17.6	0.64	0.0612	28.5	1.4	0.0465

注: F: 起始破裂力, N; T: 破裂时间, s; U: 起始破裂力时的位移, mm。
Note: F: Load, N; T: Time, s; U: displacement, mm.

3.3 成本分析及应用前景

禽蛋盒成本包括原材料成本, 运输成本、水电费和人工等。禽蛋包装企业员工定额, 其成本与生产量基本呈线性分布。以企业的房租 2 万元/月为例, PVC 新材料 8 500 元/t 记, 蛋盒毛利率一般 30%, 那么 3 t/月为平衡点。

本文研究的 2 种包装均为一次性包装, 单件包装的 PVC 板尺寸均为 149 mm×103 mm×71 mm, 因此 2 种包装单次使用材料月消耗成本相同(材料成本为 0.077 元, 人工成本为 0.077, 总成本为 0.154 元, 销售价格为 0.22 元)。目前人们对禽蛋 PVC 包装的研究在深度和广度上远远不能满足包装市场和禽蛋行业的要求。随着蛋业的高速发展和物联网技术的强大, 禽蛋包装已经成为制约销售和出口的瓶颈, 对禽蛋包装进行全面透彻地研究分析, 设计优质 PVC 包装, 对加速禽蛋快速、远距离运输具有重大意义。未来的 PVC 禽蛋包装需要从几个方面研究: 1) 增加 PVC 包装的品种, 提高其美观性; 2) 进一步进行造型设计, 使 PVC 包装达到无损包装要求; 3) 改进和研发 PVC 禽蛋包装生产工艺和机械, 降低产品成本, 提高包装企业的经济效益; 4) 利用中国禽蛋业规模化生产、产业化经营优势和资源, 增加出口创汇。

4 结论

本文提出禽蛋低破损率新型包装的设计方法和试验途径, 设计制造出新型 PVC 禽蛋包装盒, 试验验证包装的保护性能, 空盒压力试验可以测试包装盒的承载能力, 满盒包装盒能检测模拟实际运输状态的禽蛋运输的承载现状。结论如下: 1) 包装盒支撑柱结构承受的载荷约 170 N; 2) 当前流通 PVC 包装盒承受载荷分别为 80~100 N, 新型 PVC 包装盒承受载荷分别为 90~130 N, 新结构抗压能力增强; 3) 使用 PVC 新结构包装, 禽蛋运输破损率降低了 0.72%。

[参 考 文 献]

[1] 朱宁, 秦富. 机械化对蛋鸡规模养殖技术效率的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(22): 63-69.
Zhu Ning, Qin Fu. Influence of mechanization on technical efficiency of large-scale layer breeding[J]. Transactions of

the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(22): 63-69. (in Chinese with English abstract)

[2] 陈伟生, 等. 中国养殖业可持续发展战略研究畜禽养殖卷[M]. 中国农业出版社, 2013.1.

[3] Lederer B E. For egg protection, pack design is more important than pack material[J]. Poultry International, 1983(12): 70-78.

[4] 任奕林, 王树才, 丁幼春, 等. 鸡蛋壳生物力学特性分析及试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 145-149.
Ren Yilin, Wang Shucui, Ding Youchun, et al. Experimental study on egg biomechanics properties[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(6): 145-149. (in Chinese with English abstract)

[5] Garwood V A, Lowe P C, Haugh C G. Method for improving egg-shell strength by selection[J]. British Poultry Science, 1979, 20(3): 289-295.

[6] Rebuking Tantalus, Ahmed Seeker. Effect of egg shape index on mechanical Properties of chicken eggs[J]. Journal of Food Engineering, 2008(85): 606-612.

[7] 宋慧芝, 王俊, 叶均安. 鸡蛋蛋壳受载特性的有限元研究[J]. 浙江大学学报, 2006, 32(3): 350-354.
Song Hui, Wang Jun, Ye Jun'an. Analysis of the loading properties of fowl eggshell with finite element method[J]. Journal of Zhejiang University: Agriculture & Life Sciences, 2006, 32(3): 350-354. (in Chinese with English abstract)

[8] 刘刚, 姜海涛. 蛋破损的原因及防止措施[J]. 中国家禽, 2009, 31(10): 48-49.
Liu Gang, Jiang Haitao. Eggs damaged the cause and the prevention measures[J]. China Poultry, 2009, 31(10): 48-49. (in Chinese with English abstract)

[9] 赵改名. 禽产品加工利用[M]. 化学工业出版社, 2009.

[10] Deshpande V S, Fleck N A. Energy absorption of an egg-box material[J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 2003(51): 187-208.

[11] Akisanya A R, Fleck N A. Plastic collapse of thin-walled frusta and egg-box material under shear and normal loading[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2006(48): 799-808.

[12] Vikas Kumar, Ai Pheeng Weea, Sohan BiA, et al. 3-D computational fluid dynamics model for forced air cooling of eggs placed in trays[J]. Journal of Food Engineering, 2012(108): 480-492.

[13] 舒祖菊, 刘盛全, 李锐, 等. 鲜鸡蛋运输包装中缓冲结构的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(2): 311-314.
Shu Zujun, Liu Shengquan, Li Rui, et al. Design of cushioning structure for transport package of fresh eggs[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2012, 39(2): 311-314. (in Chinese with English abstract)

[14] 王志伟, 胡长鹰. 缓冲包装概率设计方法研究[J]. 包装工程, 1997, (15): 4-8.
Wang Zhiwei, Hu Changyin. Probability of cushioning packaging design method research[J]. Packaging engineering, 1997, (15): 4-8. (in Chinese with English abstract)

- [15] 郭彦峰, 付云岗, 许文才, 等. 缓冲包装件的运输包装性能测试与评估技术[J]. 包装工程, 2006, (4): 26—35.
Guo Yanxiong, Fu Yungang, Xu Wencai, et al. Cushion packaging transport packaging performance test and evaluation technology[J]. Packaging Engineering, 2006, (4): 26—35. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王军, 卢立新, 李春飞, 等. 果品减振包装设计[J]. 江南大学学报: 自然科学版, 2007, 6(4): 451—454.
Wang Jun, Lu Lixin, Li Chunfei, et al. Fruit packaging design of vibration reduction[J]. Journal of jiangnan university: natural science edition, 2007, 6(4): 451—454. (in Chinese with English abstract)
- [17] 许志杰, 覃佐东, 吴兰芳, 等. 多种植物纤维复合制备纸质蛋盒及其静力学特性研究[J]. 包装工程, 2012(5): 47—50.
Xu Zhijie, Qin Zuodong, Wu Lanfang, et al. Egg boxes produced with multifiber static mechanical properties[J]. Packaging Engineering, 2012(5): 47—50. (in Chinese with English abstract)

Design of PVC elastic thin wall packing box for eggs and experiment of its mechanical property

Zhang Rong, Wang Shucal^{*}, Mei Zhimin

(College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: With the establishment of the system of intensive poultry industrial chain of production and marketing, the integrated management of production, processing and sales of eggs is gradually implemented. Although it is greatly improved, the mechanization of China's poultry industry is still facing the problems such as investment risk and low degree of automation, while mechanization is the foundation of poultry industrial chain. Moreover, the final quality of eggs also depends on its production date, temperature, cushioning packaging and storage. Eggs are easily damaged. Broken eggs are easy to breed microorganisms, which can contaminate other eggs, so there are about 10%-14% loss during circulation. The breakage rate of circulation can be reduced by packing. Recently, with the rapid development of information technology and electronic business, and the development of large-scale industrial projects, the brand awareness is gradually strengthened. The total consumption and per capita consumption level of China's packaging eggs are significantly improved. Some large-scale equipments, fragile agricultural products or objects (such as eggs) need lossless transport from the production base to the destination. The way of a quick, long-distance transport is demanded. Both the industrialization and automation package of egg industry and the long-distance non-destructive transport can be implemented by excellent packages, which have important implications for reducing the breakage rate of eggs, improving the packaging efficiency and reducing the labor costs. In this paper, the theoretical study of the mechanical properties of packaging made in the elastic slice was performed, different transport packagings of eggs were designed, and then the experiments for mechanical properties of the packaging with no load and full load were carried out by the texture analyzer (TMS-PRO, from America). Using the experimental design method, the changes in breakage rate with the variation factors were analyzed, the protective packaging for eggs and the protective effect of egg boxes were detected, and then the product costing and the feasibility of industrial production were analyzed, in order to reduce eggs' breakage rate of transport, and improve the industrialized automatic production line for the packaging of eggs. The results were presented in the paper: 1) The packaging box of Series C was feasible; 2) The arch structure design of C packaging could support the load of about 90-130 N, and X packaging could support the load of about 80-110 N; 3) The maximal loading capacity of the full box was better than that of the empty box; 4) The capacity of packaging box was significantly enhanced with the increase of eggs' number in the box. In this paper, it was verified that egg breakage rate could be reduced in industrial production and transportation using the new cushioning package. The packaging design mechanism and method for lossless transport of eggs proposed in this paper can provide the reference for optimizing the packaging structure for eggs.

Keywords: packaging; mechanical properties; experiment; egg; breaking strength