

鲜鸡蛋运输包装中缓冲结构的研究

舒祖菊¹, 刘盛全^{2*}, 李锐¹, 胡琴琴¹, 卫学经¹

(1. 安徽农业大学轻纺工程与艺术学院, 合肥 230036; 2. 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036)

摘要: 以鲜鸡蛋为研究对象, 采用 B 型瓦楞纸板设计鲜鸡蛋运输包装的缓冲结构, 结构类似 0301 型瓦楞纸箱箱盖, 在其长度方向的中间位置设计衬板, 在其承载面上经 4 次裁切制作圆孔, 圆孔的半径不大于鲜鸡蛋最大半径的平均值。在装箱过程中, 为了使上下间隔使用的缓冲结构上的圆孔错开, 设计 2 种缓冲结构间隔使用。对所设计的缓冲结构进行受力分析和计算, 论证了缓冲结构的必要性以及改进后的缓冲结构的合理性。

关键词: 鲜鸡蛋; 运输包装; 瓦楞纸板; 缓冲结构

中图分类号: S817; TS253.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2012)02-0311-04

Design of cushioning structure for transport package of fresh eggs

SHU Zu-ju¹, LIU Sheng-quan², LI Rui¹, HU Qin-qin¹, WEI Xue-jing¹

(1. School of Light -Textile Engineering & Art Design, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. School of Forestry & Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: The cushioning structure for the transport package of fresh eggs was designed using B-type corrugated boards. It was similar to the cover of 0301 corrugated box. There was a cushion board in the middle of its length. Round holes were designed in the bearing surface of the cushioning structure by cutting four times. The radius of round hole was not greater than the average of the maximum radius of fresh eggs. In order to make upper and lower round holes staggered during the packaging process, there were six floors and two types of cushioning structures in the egg box. The force analysis and calculation of the cushioning structure demonstrated that the cushioning structure is necessary and reasonable.

Key words: fresh egg; transport package; corrugated board; cushioning structure

鲜鸡蛋从生产地到达消费者手中, 必须经过采集、分级、包装、检验、搬运、运输、储存等多道流通环节。鲜鸡蛋在流通过程中, 因受静动载荷、加速度、速度、位移等作用, 极易破损。破损的鲜鸡蛋受微生物侵害会很快腐败变质, 不仅污染环境, 而且会污染周围的鲜鸡蛋使裂纹鲜鸡蛋携带病菌^[1-2]。据商业部门统计, 由于破损而引起的鲜鸡蛋损耗约占总采集量的 10%~25%。鲜鸡蛋破损既导致重大的经济损失, 又会危害人们身体健康。因此, 改善鲜鸡蛋包装, 加强包装保护功能, 减少破损的问题, 受到我国禽蛋业的高度重视^[3]。

鲜鸡蛋包装的关键是防震缓冲以避免破损和防止微生物侵染, 而防震缓冲性能对鲜鸡蛋运输包装

而言尤为重要。鲜鸡蛋运输包装中常用纸浆模塑蛋托、塑料蛋托、塑料蛋盘箱等。纸浆模塑蛋托在市场上占 90% 以上的份额, 性能优异, 在流通过程中不会造成鲜鸡蛋的大量破损和污染。但是纸浆模塑蛋托强度、刚度有限, 易压溃破烂, 吸潮性大, 易滋长病菌, 不宜重复利用。塑料蛋托在台湾地区使用最多, 它强度高, 不易破烂, 重量轻, 储运方便, 可清洗消毒, 能循环使用。但是塑料蛋托弹性不好, 防震缓冲性能弱, 废弃后不易处理, 会污染环境, 消毒清洗工作繁琐。塑料蛋盘箱在我国使用的比较少, 它强度、刚度大, 不易压溃损坏, 清洗消毒后可多次使用。但是塑料蛋盘箱体积大占用空间, 储运不方便, 重量大, 成本高, 弹性不好, 缓冲减震

收稿日期: 2011-07-18

基金项目: 木材科学与技术省级重点实验室和大学生创新基金项目 (2011349) 共同资助。

作者简介: 舒祖菊, 女, 博士研究生, 讲师。E-mail: shuzuju@ahau.edu.cn

* 通讯作者: 刘盛全, 男, 博士, 教授, 博士生导师。E-mail: liusq@ahau.edu.cn

性能弱,废弃后不易处理会污染环境,消毒清洗工作繁琐^[2]。

在当今包装制品中,瓦楞纸板包装应用最为广泛,因为瓦楞纸板具有许多优点^[2]。特别是瓦楞纸板的成型不需要昂贵的模具,给其成型带来了方便,利用它设计缓冲结构的成本也大大低于纸浆模塑和塑料。因此,作者结合瓦楞纸箱的结构参数,采用瓦楞纸板代替纸浆模塑和塑料设计鲜鸡蛋运输包装的缓冲结构,并对缓冲结构进行受力分析和计算,论证设计缓冲结构的必要性和合理性。

1 缓冲结构设计

1.1 结构设计

目前,人们一般按照美国和日本提出的分级标准,将鸡蛋分为6个等级:LL级(69 g以上),L级(63~69 g),M级(57~62 g),MS级(51~56 g),S级(45~50 g)和SS级(45 g以下)^[4]。本课题选择L级的鲜鸡蛋作为包装对象设计缓冲包装。

在合肥某超市购买一批散鲜鸡蛋,鸡蛋个数50个,鸡蛋重量3.2 kg,由统计数据得鸡蛋单重64 g。

缓冲结构采用瓦楞纸板经裁切、开槽、压痕、折叠、接合制成。它结构类似0301型瓦楞纸箱箱盖^[2],并在承载面上经过裁切、压痕、折叠制出圆孔,所设计圆孔在使用时具有一定的弹性,因此圆孔的半径不大于鲜鸡蛋最大半径的平均值,以此卡住、固定鲜鸡蛋,起到保护作用。并且缓冲结构上圆孔的排布设计两种,使蛋箱内上下间隔使用的缓冲结构上的圆孔间隔错开,以便最大程度地利用缓冲结构的空位,减小缓冲结构高度方向的尺寸,节省材料。

根据鸡蛋尺寸统计所得数据,进行缓冲结构设计。由统计数据得鲜鸡蛋高度的平均值为57.5 mm,设计缓冲结构高度为58.0 mm。鲜鸡蛋最大半径的平均值为22.5 mm,如果缓冲结构上圆孔的半径为22.5 mm,则会有大量鲜鸡蛋不能被卡住固定,所以设计缓冲结构上圆孔的半径 R 为22.0 mm。参考合肥某超市的塑料蛋盘箱的中间圆孔间距为7 mm,设计缓冲结构的中间圆孔间距 S 为10.0 mm,端点圆孔间距 S' 为5.0 mm。

蛋托在整个鲜鸡蛋运输过程中,特别是远距离运输中已广为使用。现在市场上的蛋托通常为30枚,但个别国家例外,如日本有45枚的蛋托,西班牙有15枚的蛋托^[4]。由我国鲜鸡蛋储存运输的实际情况可知,对于蛋箱的设计,承载重量以15~20 kg为宜。根据市场上的蛋托确定枚数为30,选择的包

装对象是单重为64 g的鲜鸡蛋,则蛋托要承载鲜鸡蛋重量为1.92 kg(30×64 g)。

如果依照上述情况,设计缓冲结构上圆孔的数目为30,缓冲结构要承载鲜鸡蛋重量约为2 kg。后续研究设计的蛋箱是0201型瓦楞纸箱,承载鲜鸡蛋重量约为16 kg,则蛋箱内约需要8层缓冲结构,所以蛋箱高度约为464.0 mm(58.0 mm×8)。因为0201型瓦楞纸箱的最佳尺寸比例大概在1.5:1:1范围^[4],所以缓冲结构上圆孔的排布不宜为30×1,15×2,10×3,可以为6×5,但是圆孔的排布为6×5时,缓冲结构的宽度约为270 mm,相对而言,蛋箱过高不适宜。

改变缓冲结构的设计,参考日本的45枚蛋托,设计缓冲结构1上圆孔的数目为45,排布不宜为45×1、15×3,可以为9×5。为了使蛋箱内上下间隔使用的缓冲结构上的圆孔间隔错开,故设计另一缓冲结构2上圆孔的排布为8×6,数目为48。为了加大缓冲结构的承载能力和抗压强度,在缓冲结构长度方向的中间位置设计衬板(由后续的受力分析说明增加衬板的必要性),因此需要抽去缓冲结构1长度方向中间位置的一列圆孔,使其圆孔的排布为8×5,数目为40。并且设计缓冲结构1与缓冲结构2的长宽方向的尺寸按照圆孔的排布为9×6的理论数目计算。

缓冲结构1:承载鲜鸡蛋个数为40个(8×5),重量为2.56 kg(40×64 g);缓冲结构2:承载鲜鸡蛋个数为48个(8×6),重量为3.072 kg(48×64 g)。如果设计蛋箱是0201型瓦楞纸箱承载鲜鸡蛋重量约为16 kg,则缓冲结构1需要6.25层(16 kg/2.56 kg);缓冲结构2需要5.2层(16 kg/3.072 kg),上下间隔使用缓冲结构1与缓冲结构2需要16 kg/(2.56+3.072) kg=2.8层,总共约需要6层。所以16 kg左右的鲜鸡蛋约需要缓冲结构1与缓冲结构2各3层上下间隔分开使用。蛋箱内设计6层缓冲结构,最高一层缓冲结构与蛋箱摇盖之间应该留出空间容纳缓冲结构上鲜鸡蛋的上半部分,鲜鸡蛋高度的平均值的2/3为38.5 mm,故设计该空间高度 h 为40 mm。

缓冲结构上圆孔制造时,采用两次裁切成型和4次裁切成型。经两次裁切、压痕、折叠制造圆孔,纸翼不易下沉,圆孔的尺寸和形状受到很大影响,鲜鸡蛋也不能很好地坐落在圆孔中被紧紧卡住固定。经四次裁切、压痕、折叠制造圆孔,纸翼容易下沉,圆孔的尺寸和形状基本不受影响,能很好地卡住固定鲜鸡蛋。因此,采用四次裁切成型制造圆

孔。虽然圆孔的设计依据是统计值的平均值, 但由于其有一定的弹性范围, 可以满足大小有一定差异的该级鸡蛋的放置。

缓冲结构 1 与缓冲结构 2 的平面展开示意图如图 1 和图 2 所示。

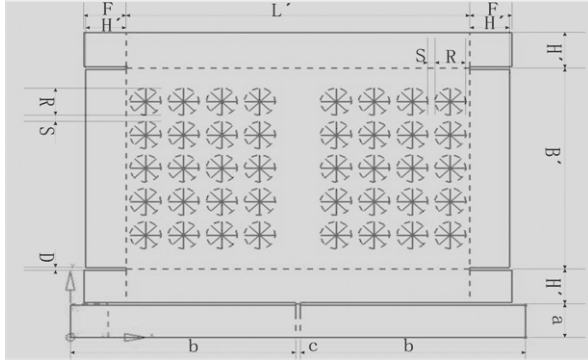


图 1 缓冲结构 1
Figure 1 Cushioning structure 1

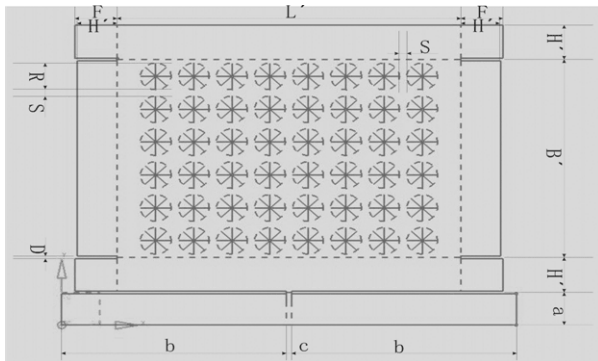


图 2 缓冲结构 2
Figure 2 Cushioning structure 2

1.2 瓦楞纸板选择和尺寸设计

1.2.1 瓦楞纸板的选择 瓦楞纸板按照瓦楞的类型不同, 通常分为 A 型、B 型、C 型、E 型等 4 种。各种瓦楞之间的区别在于楞高和单位长度上的瓦楞数量不同, 因而不同楞型的瓦楞纸板性能和用途不同^[2]。

鲜鸡蛋强度小易破损, 但是其本身具有一定的刚度和硬度, 而且在所承载荷较小的情况下鲜鸡蛋不会轻易破碎。而 B 型瓦楞纸板坚硬且不易破损, 可多次重复使用, 可制造形状复杂的结构。因此, 鲜鸡蛋运输包装的缓冲结构采用 B 型瓦楞纸板。

1.2.2 外径尺寸设计及计算 外径尺寸的计算公式为:

$$Xo' = 2Rm_x + S(m_x - 1) + 2S' \quad (1)$$

式中 Xo' —缓冲结构外径尺寸/mm; R —缓冲结构圆

孔半径尺寸/mm; S —缓冲结构中间圆孔间距尺寸/mm; S' —缓冲结构端点圆孔间距尺寸/mm; m_x —包装对象(鲜鸡蛋)在缓冲结构某一方向上的理论数目, 个。

由(1)得: $Lo' = 486.0 \text{ mm}$; $Bo' = 324.0 \text{ mm}$; $Ho' = 58.0 \text{ mm}$ 。

B 型瓦楞纸板取 $t_B = 3.0 \text{ mm}$, 计算出 $a' = 55.0 \text{ mm}$; $b' = 318.0 \text{ mm}$; $c' = 6.0 \text{ mm}$ 。

1.2.3 制造尺寸设计及计算 缓冲结构类似 0301 型瓦楞纸箱箱盖, 故制造尺寸的设计及计算参考 0301 型纸箱制造尺寸的设计及计算。而 0301 型纸箱的制造尺寸计算公式和摇盖伸长修正值同 0201 型瓦楞纸箱^[2]。

制造尺寸的计算公式为:

$$X' = Xo' - t + K \quad (2)$$

式中 X' —缓冲结构制造尺寸/mm; Xo' —缓冲结构外径尺寸/mm; t —瓦楞纸板厚度/mm; K —瓦楞纸箱制造尺寸修正系数(加大量)/mm。

由于瓦楞纸板的厚度较大, 压痕线宽度通常取 1.5~2 个纸板的厚度; 让刀则对纸箱影响更大, 应取一个瓦楞纸板的厚度或略大一些为宜^[2]。

对于 B 型瓦楞纸板, 由(2)得: $L' = 487.0 \text{ mm}$; $B' = 325.0 \text{ mm}$; $H' = 57.0 \text{ mm}$; $a = 54.0 \text{ mm}$; $b = 319.0 \text{ mm}$; $c = 7.0 \text{ mm}$; 摇盖 $F = 60.0 \text{ mm}$; 压痕线宽度: $1.5t_B = 4.5 \text{ mm}$; 开槽宽度: $D = 4.0 \text{ mm}$ 。

2 受力分析与计算

对缓冲结构进行受力分析, 可将其简化成梁。初始设计时, 缓冲结构长度方向的中间位置没有设计衬板, 则可以简化为一静定的简支梁^[5]。简支梁承受的载荷可以简化成均布载荷, 设梁的长度为 1, 单位长度内的载荷即载荷集度为 q 。EI 为瓦楞纸板弯曲刚度^[6]。计算可得挠度方程和最大挠度:

$$\omega = q(lx^3/6 - x^4/12)/2EI - ql^2x/24EI \quad (3)$$

$$\omega_{\max} = \omega |_{x=l/2} = -5ql^4/384EI \quad (\text{正负号表示方向})^{[5]}$$

为了加大缓冲结构的承载能力和抗压强度, 对于初始设计方案进行了改进, 在缓冲结构长度方向的中间位置设计了衬板, 相当于给静定梁增加了一个约束, 梁上支反力(包括支反力偶)的数目超过有效平衡方程的数目, 成为一静不定梁^[5]。计算可得挠度方程:

$$\omega = q(lx^3/16 - x^4/12)/2EI - 9ql^3x/16^3EI \quad (4)$$

$$\omega_{\max} = \omega |_{x=3l/16} = -207ql^4/524288EI \quad (\text{正负号表示方向})^{[5]}$$

由前面结构设计中的数据统计知, 选择的包装

对象鲜鸡蛋单重为 64 g。缓冲结构 1 承载鲜鸡蛋重量为 $m_1=8 \times 5 \times 64 \text{ g}=2.56 \text{ kg}$, 缓冲结构 2 承载鲜鸡蛋重量为 $m_2=8 \times 6 \times 64 \text{ g}=3.072 \text{ kg}$ 。

表 1 缓冲结构 1 的挠度

Table 1 Deflection of cushion structure 1 mm			
项目 Item	长度 Length	宽度 Width	
有衬板 With support	0.5	1.45	
无衬板 Without support	17	3	

表 2 缓冲结构 2 的挠度

Table 2 Deflection of cushion structure 2 mm			
项目 Item	长度 Length	宽度 Width	
有衬板 With support	0.6	1.74	
无衬板 Without support	20	3.5	

瓦楞纸板横向弯曲刚度为 $2.22 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$, 纵向弯曲刚度为 $3.84 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ 。瓦楞纸板的纵向边压强度大于横向边压强度, 所以设计缓冲结构的长度方向垂直瓦楞纵向。计算缓冲结构长度方向的挠度使用横向弯曲刚度, 宽度方向的挠度使用纵向弯曲刚度^[6-8]。根据上面的公式和数据计算所得挠度见表 1 和表 2 所示。

3 计算结果分析及结论

本课题以 L 级(63~69 g)鲜鸡蛋为包装对象, 采用 B 型瓦楞纸板设计鲜鸡蛋运输包装的缓冲结构, 类似 0301 型瓦楞纸箱箱盖; 在其长度方向的中间位置设计衬板; 在其承载面上经四次裁切制造圆孔, 设计圆孔的半径不大于鲜鸡蛋最大半径的平均值。缓冲结构高度为 58.0 mm, 缓冲结构上圆孔的半径 $R=22.0 \text{ mm}$, 缓冲结构的中间圆孔间距 $S=10.0 \text{ mm}$, 端点圆孔间距 $S'=5.0 \text{ mm}$ 。蛋箱内设计 6 层缓冲结构, 根据圆孔的数目和排布设计两种缓冲结构, 缓冲结构 1 圆孔的排布为 $8 \times 5=40$, 缓冲结构 2 圆孔的

排布为 $8 \times 6=48$, 缓冲结构 1 与缓冲结构 2 各 3 层上下间隔分开使用。但是缓冲结构 1 和缓冲结构 2 的外径尺寸长和宽都是根据圆孔的排布为 $9 \times 6=54$ 的理论数目设计及计算。

对缓冲结构进行受力分析的结果显示: 对于缓冲结构 1, 有衬板时长度方向的挠度只有无衬板时的 1/34, 说明无衬板时变形过大, 影响其缓冲减震性能。有衬板时宽度方向的挠度是无衬板时的 1/6, 与长度方向相比变化不明显, 且挠度不太大。无衬板时长度方向的挠度 17 mm 比宽度方向的挠度 3 mm 明显大很多。有衬板时长度方向的挠度 0.5 mm 反而比宽度方向的挠度 1.45 mm 小。对缓冲结构 2, 虽然挠度不同, 但结论是类似的。因此, 鲜鸡蛋运输包装的缓冲结构有必要设计衬板, 且最大挠度 1.45 和 1.74 mm 不至于使相邻两层鸡蛋相互挤压。经后续的纸箱设计和装箱实验也验证该结构设计衬板的必要性, 并能有效地实现缓冲作用, 而且成本大大降低。

参考文献:

- [1] 章建浩. 食品包装学[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [2] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2008.
- [3] 王云. 我国鸡蛋包装有商机[J]. 北方牧业, 2003(13): 7.
- [4] 国际市场上的鸡蛋分级和包装[J]. 饲料世界, 2003(7): 62.
- [5] 单辉祖, 谢传锋. 工程力学(静力学与材料力学)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [6] 赵振, 陈黎敏. 瓦楞纸板和蜂窝纸板的力学性能研究[J]. 包装工程, 2005, 26(3): 5-7.
- [7] 耿敏, 熊宏智, 葛效尧. 蜂窝纸板与瓦楞纸板的复合刚度试验及分析[J]. 北京工商大学学报, 2001, 19(1).
- [8] Tomas N. Analysis and testing of corrugated board panels into the post-buckling regime[J]. Composite Structures, 2004, 63: 198-199.