DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260412001
引用格式: 卢芳芳, 徐喜蕊, 李真, 等. 黄桃罐头包装的缓冲结构设计研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(17): 263–269.
Lu Fangfang, Xu Xirui, Li Zhen, et al. Study on cushioning structure design of canned yellow peach packaging [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(17): 263–269. (in Chinese with English abstract).

黄桃罐头包装的缓冲结构设计研究

卢芳芳[1,2*], 徐喜蕊[1], 李 真[1], 李 响[1]

(1. 河南牧业经济学院包装与印刷工程学院, 郑州 450046; 2. 河南省农产品保鲜智能包装工程技术研究中心, 郑州 450046)

摘 要: 目的 探究不同 C 型瓦楞纸板结构参数对黄桃罐头缓冲性能的影响。**方法** 依据黄桃罐头金属瓶的尺寸, 以 C 型瓦楞纸构建缓冲结构, 通过试样的跌落实验分析缓冲内衬的卡扣宽度、缓冲厚度、缓冲高度变化时一角、三棱、六面的缓冲性能, 建立加速度变化曲线; 采用排队评分法, 以纸板用量和缓冲性能为评价指标, 综合优化结构参数。**结果** 卡扣宽度 20 mm、缓冲厚度 14 mm、缓冲高度 20 mm 为最优参数组合, 该条件下兼顾良好的缓冲性能与合理的材料用量, 缓冲效果最佳。缓冲厚度超过 14 mm 后性能提升趋缓, 缓冲高度超过 20 mm 后加速度明显回升。**结论** 3 个结构参数中, 卡扣宽度和缓冲厚度对缓冲性能影响较为显著, 缓冲高度影响相对较小; 在角、面跌落中加速度值较大, 设计中应加强对角、面方向的保护。优化后的缓冲结构既能充分发挥 C 型瓦楞纸板的缓冲防护性能, 实现包装减量化与完整性, 又能兼顾经济性与环保要求。

关键词: 缓冲内衬; 结构参数; 跌落实验; 最大加速度; 排队评分法
中图分类号: TS206.6 **文献识别码:** A **文章编号:** 2095–0381(2026)17–0263–07

Study on cushioning structure design of canned yellow peach packaging

LU Fang-Fang[1,2*], XU Xi-Rui[1], LI Zhen[1], LI Xiang[1]

(1. *College of Packaging and Printing Engineering*, *Henan University of Animal Husbandry and Economy*, *Zhengzhou* 450046, *China*; 2. *Henan Agricultural Products Preservation Intelligent Packaging Engineering Technology Research Center*, *Zhengzhou* 450046, *China*)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of different structural parameters of C-flute corrugated paperboard on the cushioning performance of canned yellow peach. **Methods** According to the dimensions of metal cans containing yellow peach, a cushioning structure was constructed using C-flute corrugated paperboard. Drop tests were conducted to evaluate the cushioning performance under corner, edge and face drop conditions. The effects of buckle width, cushioning thickness and cushioning height on cushioning performance were analyzed by establishing acceleration variation curves. A ranking and scoring method were employed to optimize the structural parameters comprehensively, using paperboard consumption and cushioning performance as evaluation indices. **Results** The optimal parameter combination was the buckle width of 20 mm, the cushioning thickness of 14 mm and the cushioning height of 20 mm. Under this condition, both good cushioning performance and reasonable material consumption were

收稿日期: 2026-04-12
第一作者/*通信作者: 卢芳芳(1986—), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向为包装轻量化设计与食品保鲜包装。E-mail: hnmylff@163.com

taken into account, and the cushioning effect was the best. When the cushioning thickness exceeded 14 mm, the performance improvement slowed down, and the acceleration rebounded obviously when the cushioning height exceeds 20 mm. **Conclusion** Among the 3 structural parameters, the buckle width and cushioning thickness have a significant effect on the cushioning performance, and the cushioning height has a relatively small effect. The acceleration value is larger in the corner and surface drop, and the protection of the corner and surface direction should be strengthened in the design. The optimized cushioning structure can not only give full play to the cushioning protection performance of C-flute corrugated paperboard, realize packaging reduction and integrity, but also take into account the requirements of economy and environmental protection.

KEY WORDS: cushioning pad; structural parameter; drop test; maximum acceleration; ranking and scoring method

0 引 言

随着我国经济水平提高，人们对产品的安全和包装越来越关注。黄桃罐头因其果肉饱满、甜润多汁、食用便捷，深受消费者喜爱。黄桃罐头的金属容器既隔氧防潮，有效保证黄桃色泽和口感，又密封性强，隔绝微生物污染。但金属容器质量较大，在运输过程中易受到挤压、碰撞等外力作用，导致包装变形甚至发生泄漏，从而影响产品密封性能，加速食品品质劣变[1−2]。据不完全统计，黄桃罐头现有外箱包装多为全封闭结构的折叠纸箱，内衬大多为聚苯乙烯泡沫(expanded polystyrene, EPS)等发泡材料，此类材料虽具有较好缓冲保护作用，但存在不易降解，燃烧释放有毒气体等问题，不利于绿色包装的发展[3]。与此同时，2025 年修订的《快递暂行条例》修订版增设“快递包装”专章，提出推进快递包装绿色化、减量化和可循环化发展[4]。因此，如何在运输中既能合理保护黄桃罐头，又能解决环保问题，是缓冲包装的重要课题。

瓦楞纸板兼具优良的缓冲性能和较高的抗压强度，其瓦楞结构类似于拱形，具有防冲减震的作用，结合产品特性其弹性形变能力可有效降低应力集中，发挥缓冲性能，实现对产品的保护。同时瓦楞纸板为可降解材料，可在保障运输安全的同时，实现包装减量化和绿色环保的目标[5−7]。

近年来，水果及果蔬制品包装研究主要集中于包装结构优化、缓冲性能提升及绿色包装应用等方面，在水果罐头、玻璃瓶包装、桃类果品包装及果蔬运输包装等领域取得了一定进展[8−10]。然而，相关研究多聚焦于鲜果包装或通用食品包装，对黄桃罐头运输缓冲结构的研究仍较少，尤其缺乏基于瓦楞纸板结构参数优化的系统研究。

本研究以黄桃罐头包装为例，选取C型瓦楞纸板依据其较重、易变形等特点进行缓冲结构设计和跌落测试，通过跌落实验分析不同结构参数变化时试样不同跌落方向的加速度变化情况。在此基础上，依据包装减量化原则，避免包装过度，在保障产品安全的前提下既要节约制造成本，不浪费材料，又要绿色环保，循环再利用且易生物降解。研究结果可为黄桃罐头绿色缓冲包装设计及结构优化提供理论依据和技术参考，对推动果蔬罐头包装减量化、绿色化和可持续发展具有一定现实意义。

1 材料与方法

1.1 材 料

C 型瓦楞纸板：楞高 3.5 mm，楞数 37 个/300 mm，面纸 200 g/m²，芯纸 125 g/m²(河南灞宇纸品有限公司)；黄桃罐头(夏邑县江海食品厂)。

1.2 仪 器

JD-AS-1813C 电脑切割机(深圳市锦德机械设备有限公司)；ICP/IEPE 压电式加速度传感器(上海澄科电子科技有限公司)；JP-5028 跌落实验机(东莞市佳品试验设备有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 黄桃罐头缓冲包装设计

本研究选择的黄桃罐头尺寸如图 1 所示，高度为 110 mm、直径为 75 mm、克重为 425 g。该罐头容器在储运中易遭受挤压、碰撞和冲击，会出现液体溢出或者罐头形状不会恢复原样，且瓶口、瓶底结构因接触面积较小，应力较大，更易发生破损和泄漏。因此，在储运中应加强瓶口和瓶底部位的保护。本研究依据黄桃罐头结构，内衬以厚度为3.5 mm的C型瓦楞纸板构建缓冲结构，采用折叠式一体化结构，由单张瓦楞纸板经裁切、压痕后折叠成型，最终形成长方体框架。纸板中间通过折叠形成空隙夹层，预留一定高度的缓冲空间，顶层纸板上对称切割出两个同尺寸的圆用于固定罐头。纸板折叠后形成中空夹层结构，该结构是包装系统的主要缓冲单元，其夹层高度定义为缓冲高度。跌落冲击过程中，夹层结构通过瓦楞楞峰压溃及纸板弹性回复实现能量耗散，从而达到缓冲防护作用[11]。

此外，图 2a 最左侧细长区域为结构黏结区，用于纸板折叠后的连接固定，保证整体缓冲结构的稳定性。顶层和底层缓冲内衬分别设置两个圆形限位孔，其孔径依据黄桃罐头瓶身设计，圆孔与罐头外径基本一致。装配后，罐

头瓶身与圆孔形成过盈限位配合，在上下两层内衬共同约束作用下，罐头始终保持竖直状态，不易发生倾斜、晃动或横向位移。跌落冲击过程中，罐头受到的载荷首先传递至圆孔周围的纸板，再经夹层缓冲结构逐级吸收和分散，从而提高整体结构稳定性并降低冲击加速度[12]。内衬效果图如图 2b 所示。



图 1　黄桃罐头尺寸示意图
Fig.1　Size diagram of canned yellow peaches



a. 内衬结构图　　b. 内衬效果图

图 2　黄桃罐头缓冲结构设计及效果图
Fig.2　Cushioning structure of design and effect diagram for canned yellow peach

1.3.2　跌落实验

在 25 ℃、相对湿度(50±5)%的恒温恒湿条件下，按照 GB/T 4857.2—2005《包装 运输包装件基本试验 第 2 部分：温湿度调节处理》的规定进行预处理后，依据 GB/T 4857.5—1992《包装 运输包装件 跌落实验方法》开展跌落实验。依据罐头重量，设定跌落高度为 760 mm[13]，将传感器置于垂直罐头跌落方向的部位，通过改变实验变量，按照一角三棱六面的顺序进行跌落，测量黄桃罐头缓冲结构在缓冲高度、缓冲厚度和卡扣宽度等参数变化时的加速度。

1.3.3　排队评分法

排队评分法是一种多指标综合评价方法，通过对各评价指标进行排序赋分，并结合指标权重计算综合得分，从而确定合理方案，能够消除不同指标差异的影响[14]。为兼顾包装成本与缓冲性能，本次选取纸板用量和缓冲性能为评价指标。其中纸板用量采用整体纸板面积表征，缓冲性能采用跌落实验获得的最大加速度平均值表征。两项均属于逆向指标，即指标值越小越优。考虑到缓冲性能是包装保护功能的核心要求，而材料成本为约束条件，因此设定纸板用量权重为 0.3，缓冲性能权重为 0.7。综合得分越高，说明该结构参数组合的综合性能更合理[15–16]。

1.4　数据处理

本研究运用 Origin 2024 软件绘制相应数据图，每个结构参数分别设置 5 个水平进行实验。

2　结果与分析

2.1　跌落实验中黄桃罐头缓冲包装加速度

选取厚度为 3.5 mm 的 C 型瓦楞纸板，根据黄桃罐头瓶尺寸进行模切，设置卡扣宽度、缓冲厚度、缓冲高度 3 种变量，每种因素设置 5 个水平。缓冲结构尺寸如表 1 所示，设定跌落高度为 760 mm，在结构试样未严重变形和罐头瓶无明显裂痕的情况下，记录随着不同结构参数的改变，跌落方向为一角、三棱、六面的加速度[17–20]，并绘制时间—加速度曲线图。鉴于棱角棱面跌落方向的实验数据较多，为更清晰地呈现角棱面跌落方向的数据特征，本文对各方向数据取平均值进行处理。

表 1　缓冲结构尺寸
Table 1　Size of cushioning structure

参数种类	取值范围/mm	梯度/mm	水平值/mm
缓冲厚度	3.5~17.5	3.5	3.5, 7.0, 10.5, 14.0, 17.5
卡扣宽度	10~30	5	10, 15, 20, 25, 30
缓冲高度	10~30	5	10, 15, 20, 25, 30

2.1.1　卡扣宽度对黄桃罐头缓冲性能的影响

在缓冲厚度为 10.5 mm，缓冲高度为 20 mm 时，不同卡扣宽度下的角棱面跌落对罐头的影响如图 3 所示。由跌落实验结果可知，卡扣宽度变化对黄桃罐头缓冲性能具有明显影响，宽度过小时结构连接不牢固，缓冲效果较差。如卡扣宽度 10 mm 时，角跌落最大加速度为 118.58 m/s^2 对物品缓冲效果不好。卡扣宽度过大时内装物间隙增大，易产生晃动，导致加速度值回升。如卡扣宽度为 25 mm 时，棱跌落最大加速度为 121.72 m/s^2。当卡扣宽度为 20 mm 时 3 个方向的跌落加速度依次为角跌落 69.89 m/s^2，棱跌落 76.93 m/s^2，面跌落 42.83 m/s^2，均达到最小值缓冲效果最佳[21]。

综合来看，卡扣宽度 20 mm 时，圆孔对罐头瓶身形成较稳定的限位作用，瓶身与内衬结构嵌合最充分，可有效抑制跌落过程中产生的横向位移和摆动，因此缓冲性能最佳。当卡扣宽度增大至 25 mm 和 30 mm 时，外箱尺寸随卡扣宽度同步增大，内装物间隙增大，黄桃罐头的相对稳定性受到影响，易发生倾倒或摆动，导致冲击加速度值回升。

2.1.2 缓冲厚度对黄桃罐头缓冲性能的影响

在卡扣宽度为 20 mm，缓冲高度 20 mm 时，不同缓冲厚度下的角棱面跌落对罐头的影响如图 4 所示。由跌落实验结果可知，缓冲厚度变化对黄桃罐头缓冲性能具有显著影响，随着厚度增加，缓冲效果先提升后趋于平缓，并非越厚越好。当厚度从 3.5 mm 增加至 14 mm 时各方向加速度急速下降，缓冲性能明显提升。但当厚度继续增加至 17.5 mm 时，加速度不再明显下降，部分方向甚至出现回升。在 14 mm 厚度下，角、棱、面 3 方向加速度均达到最小值依次为 77.71、42.24、55.57 m/s^2，缓冲效果最佳。这是由于单位体积吸收的能量随着蜂窝纸板厚度增大而减小，蜂窝纸板厚度越大，结构体积越大，所以在同一冲击质量下，蜂窝纸板厚度越大的结构，单位体积所吸收的能量越小[22–23]。

综合来看，缓冲厚度在 14 mm 时各方向的缓冲性能最佳，继续增加厚度并不能使冲击能量在材料内部充分耗散。相反，过厚的缓冲层在受到冲击时，靠近冲击面的材料被局部压实后刚度急剧增大，形成“硬壳”，剩余冲击能量直接通过该硬化层传递至罐头，导致加速度峰值回升。

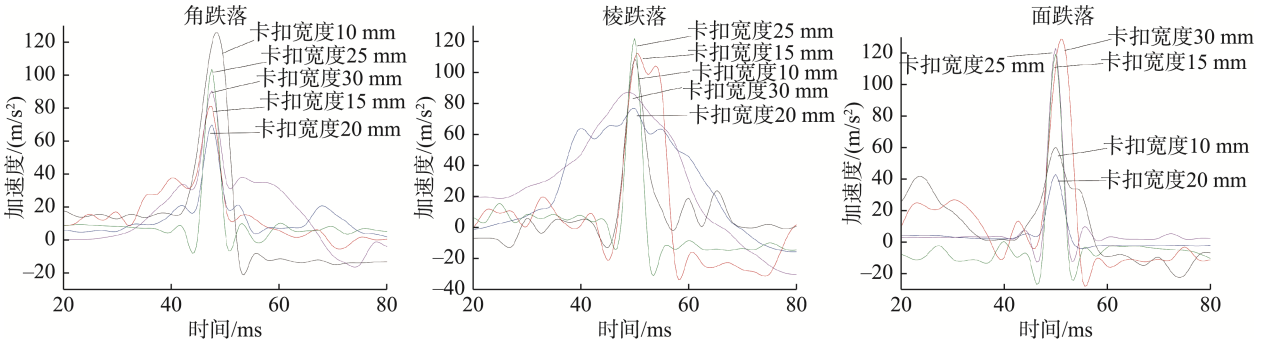


图 3 不同卡扣宽度下角棱面跌落对罐头的影响

Fig.3 Effects of corner corrugation drop on cans under different buckle widths

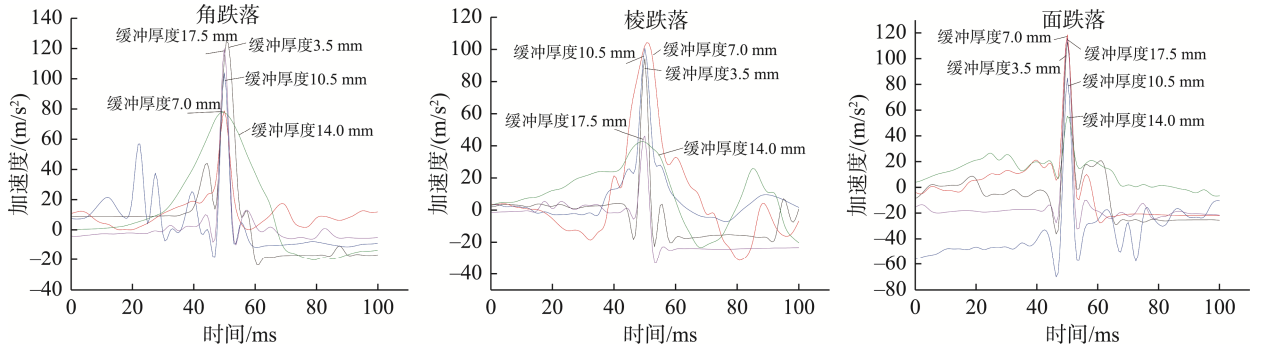


图 4 不同缓冲厚度下角棱面跌落对罐头的影响

Fig.4 Effects of corner corrugation drop on cans under different cushioning thickness

2.1.3 缓冲高度对黄桃罐头缓冲性能的影响

在卡扣宽度为 20 mm，缓冲厚度为 10.5 mm 时，不同缓冲高度下的角棱面跌落对罐头的影响如图 5 所示。由跌落实验结果可知，缓冲高度变化对黄桃罐头缓冲性能具有显著影响，随着高度增加，缓冲效果先提升后下降，存在最佳高度范围。当高度从 10 mm 增加至 20 mm 时，各方向加速度急速下降，其中角跌落最大加速度减少 17.01 m/s^2，缓冲效果提升。但当缓冲高度增加至 25 mm、30 mm 时，加速度反而回升。这是由于缓冲高度过大时，其结构高宽比增大，底部承载能力降低，整体结构易倾斜，无法实现均匀压缩变形，从而导致缓冲稳定性下降。在 20 mm 高度下，各向加速度均达到最小值，缓冲效果最佳。与其他两个结构参数相比，缓冲高度变化对各方向加速度的影响幅度较小，5 个高度下的加速度值差异不明显，说明缓冲高度不是影响黄桃罐头缓冲性能的最敏感参数。

综合来看，缓冲高度在 20 mm 时缓冲效果最佳。当缓冲高度由 20 mm 增加至 30 mm 时，外箱总高相应增加，顶部预留空间过大，在跌落瞬间，罐头需要在腔内先加速一段时间再冲击顶部内衬，动能更大，冲击更猛烈，加速度更高，缓冲效果下降。

实验表明结构参数增大时瓶身与内衬结构嵌合更充分，结构稳定性更好，整体缓冲性能更强，但当超过一定值时，其加速度反而增加，缓冲性能下降。同时结构参数的增加会带来材料尺寸、重量和用量的增加，导致生产成本和运输成本上升。因此，在黄桃罐头包装跌落实验中，卡扣宽度为 20 mm，缓冲厚度为 14 mm，缓冲高度为 20 mm 时，

黄桃罐头包装件获得较低的冲击加速度值，结构尺寸合理，　　并且提高了材料的利用率。

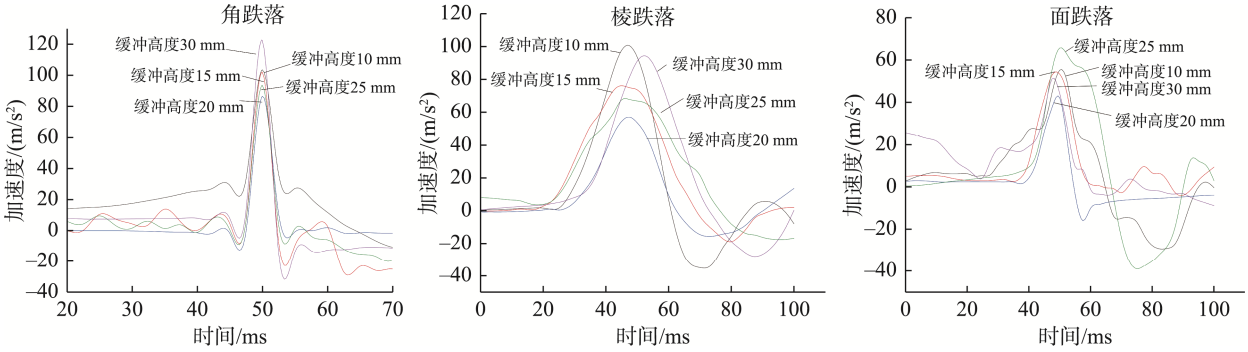


图 5　不同缓冲高度下角棱面跌落对罐头的影响

Fig.5　Effects of corner corrugation drop on cans under different buffer heights

2.2　黄桃罐头成本因素考量

运输外箱根据 0201 箱设计，其尺寸随着内衬大小而变化。在缓冲包装结构设计中，除缓冲性能外，材料用量与制造成本也是重要的评价指标。结构参数的变化不仅影响黄桃罐头的缓冲效果，还直接影响包装尺寸和用料面积，进而影响生产与运输成本[24–26]。结合各结构参数对应的外箱和内衬尺寸，分析其整体材料用量，并采用排队评分法综合评估缓冲性能与材料成本，确定合理的结构参数组合。

2.2.1　黄桃罐头整体材料用量

随着缓冲结构参数的变化，外箱包装的制造尺寸和缓冲内衬的尺寸需相应调整，以保证内衬与产品能够紧密固定。外箱 0201 型瓦楞纸箱长宽高尺寸依据缓冲结构尺寸及 GB/T 6543—2008《运输包装用单瓦楞纸箱和双瓦楞纸箱》中规定的制造尺寸修正系数进行计算，缓冲内衬尺寸依据平面结构图及绘图尺寸进行计算。整体纸板用量直接反映了材料用量(表 2)，是评估包装成本的重要指标。

由表 2 可知，各结构参数的增大均会导致整体纸板用量增加，进而提高材料用量与包装成本。因此在保证缓冲性能的前提下，应尽可能选择较小的结构参数，以实现包装减量化的目标。

表 2　黄桃罐头的整体材料用量

Table 2　Overall material consumption of canned yellow peach

结构参数	参数值/mm	纸板用量/mm²	结构参数	参数值/mm	纸板用量/mm²	结构参数	参数值/mm	纸板用量/mm²
卡扣宽度	10	215862	缓冲厚度	3.5	255618	缓冲高度	10	251422
	15	243452		7.0	263832		15	261832
	20	272242		10.5	272242		20	272242
	25	302232		14.0	280848		25	282652
	30	342502		17.5	289650		30	293062

2.2.2　排队评分法结果分析

根据纸板用量和缓冲性能评价结果，采用排队平均法对不同结构参数进行综合评价。其中纸板用量权重为 30%，缓冲性能权重为 70%，卡扣宽度排队平分法计算结果如表 3 所示[27–29]。

由表 3 可知，随着卡扣宽度的变化，各方案综合得分存在明显差异。卡扣宽度为 20 mm 时综合得分最高，为 4.4 分；其次为 10 mm，为 4.3 分；25 mm 时综合得分最低，仅为 1.3 分。虽然卡扣宽度 10 mm 具有最小的纸板用量，因此获得最高材料评分，但其缓冲性能略低于 20 mm 方案。相比之下，20 mm 方案在缓冲性能评价中获得最高分，能够显著降低跌落冲击加速度，因此在综合评价中表现最优。同样地，对缓冲厚度和缓冲高度进行排队评分分析后发现，缓冲厚度 14 mm 和缓冲高度 20 mm 均获得最高综合得分。说明这两个参数能够在保证缓冲效果的同时避免材料过度消耗，实现成本与性能的平衡。

表 3　卡扣宽度排队平分法

Table 3　Ranking and scoring method of clasp width

参数值/mm	纸板用量得分	缓冲性能得分	综合得分(纸板用量 30%性能 70%)
10	5	4	4.3
15	4	2	2.6
20	3	5	4.4
25	2	1	1.3
30	1	3	2.4

采用排队评分法对 3 个结构参数进行综合排序分析，在兼顾材料用量与缓冲性能的前提下，卡扣宽度 20 mm，缓冲厚度 14 mm，缓冲高度 20 mm 的综合表现最优。因此，确定该组合为兼顾缓冲性能与材料成本的合理结构参数。

2.3 黄桃罐头金属包装结构优化设计

依据包装减量化原则，结合黄桃罐头的缓冲结构中的跌落实验结果，在黄桃罐头的缓冲包装中，以厚度为 3.5 mm 的 C 型瓦楞纸板构建缓冲内衬结构。该结构整体折叠后为长方体，当卡扣宽度为 20 mm，缓冲厚度为 14 mm，缓冲高度为 20 mm 时，各方向跌落加速度值都很小。该结构的突出特点是通过上下两层相同的缓冲内衬将黄桃罐头紧密固定，中间空隙的缓冲高度可有效吸收冲击能量，且无论从角、棱、面任一方向发生跌落，冲击力均通过瓦楞纸板的缓冲结构传递，实现对黄桃罐头的全方位保护。该缓冲结构遵循了包装减量原则，避免了包装过度，与市场现有 EPS 泡沫缓冲包装相比，既发挥了瓦楞纸板的缓冲性能，又减少了材料用量，有利于降低生产成本和运输成本，同时符合绿色环保理念[30–31]。因此，该缓冲结构既能发挥瓦楞纸板的抗压和抗冲击性能，实现结构的保护功能，又能体现包装的完整性和展示效果，在实现防护功能的基础上提升黄桃罐头包装的经济性与环保性。

3 结 论

本研究以C型瓦楞纸板构建黄桃罐头的内衬结构，通过跌落实验，分析结构在卡扣宽度、缓冲厚度和缓冲高度变化时的缓冲性能，并结合排队评分法优化缓冲结构，当卡扣宽度为 20 mm、缓冲厚度为 14 mm、缓冲高度为 20 mm 时，结构缓冲性能最佳，材料用量相对合理。因此，在黄桃罐头缓冲包装中，通过优化卡扣宽度、缓冲厚度与缓冲高度等结构参数，既能充分发挥 C 型瓦楞纸板的缓冲防护性能，实现包装的减量化与完整性，又能兼顾经济性与环保要求。本研究仅通过跌落实验分析了结构参数对缓冲性能的影响，对于该结构在实际物流环境中的长期性能及自动化包装适配性，尚需进一步深入研究。

参考文献

[1] 王章苹, 吴芬芬, 谢芬艳. 基于水果罐头的缓冲结构设计研究[J]. 数字印刷, 2022(5): 64–70.
Wang Zhangping, Wu Fenfen, Xie Fenyan. Research on buffer structure design based on canned fruit [J]. Digital Printing, 2022(5): 64–70.

[2] 王章苹, 吴芬芬, 谢芬艳. 蜂蜜玻璃包装的缓冲结构设计研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(22): 8906–8911.
Wang Zhangping, Wu Fenfen, Xie Fenyan. Research on buffer structure design of honey glass packaging [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(22): 8906–8911.

[3] Versino F, Ortega F, Monroy Y, et al. Sustainable and bio-based food packaging: a review on past and current design innovations [J]. Foods, 2023, 12(5): 1057.

[4] 国务院. 国务院关于修改《快递暂行条例》的决定[EB/OL]. (2025-04-18) [2026-03-25]. https: //www. gov. cn/zhengce/content/202504/content_7019786. htm.
State Council of the People's Republic of China. Decision of the State Council to Amend the Interim Regulation on Express Delivery [EB/OL]. (2025-04-18) [2026-03-25]. https: //www. gov. cn/zhengce/content/202504/content_7019786. htm.

[5] 孙爽, 王军. 面纸和芯纸相互作用的瓦楞纸板平台应力研究[J]. 包装工程, 2021, 42(21): 169–175.
Sun Shuang, Wang Jun. Corrugated paperboard plateau stress of interaction between face paper and core paper [J]. Packaging Engineering, 2021, 42(21): 169–175.

[6] 宋卫生, 薛阳, 边文慧, 等. 瓦楞纸板楞形参数对力学性能的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(17): 147–151.
Song Weisheng, Xue Yang, Bian Wenhui, et al. Influence of corrugated parameters of corrugated board on mechanical properties [J]. Packaging Engineering, 2020, 41(17): 147–151.

[7] Xi Huifeng, Shu Xiangbo, Chen Manjie, et al. Drop cushioning dynamic effects of corrugated cardboard with effective anisotropic constitutive model [J]. Multidiscipline Modeling in Materials and Structures, 2024, 20(1): 142–158.

[8] 魏专, 龙佳宁. 基于减量原则的炎陵黄桃包装设计[J]. 包装工程, 2020, 41(11): 227–232.
Wei Zhuan, Long Jianing. Packaging design of Yanling yellow peaches based on reduction principle [J]. Packaging Engineering, 2020, 41(11): 227–232.

[9] 郑潇楠, 张茹, 马意欣, 等. 乡村土特产包装设计研究: 以肥城桃为例[J]. 上海包装, 2025(3): 74–76.
Zheng Xiaonan, Zhang Ru, Ma Yixin, et al. Research on packaging design of rural native products: taking Feicheng peach as an example [J]. Shanghai Packaging, 2025(3): 74–76.

[10] 杜兴丹, 高康, 王利, 等. 炎陵黄桃运输包装研究[J]. 绿色包装, 2024(6): 14–18, 38.
Du Xingdan, Gao Kang, Wang Li, et al. Study on transportation and packaging of Yanling yellow peach [J]. Green Packaging, 2024(6): 14–18, 38.

[11] Fitas R, Schaffrath H J, Schabel S. On the design of corrugated boards: a new FEM modeling and experimental validation [J]. TAPPI Journal, 2025, 24(8): 406–418.

[12] Fehér L, Böröcz P. The effect of rectangle shaped cutouts of corrugated paperboard packages on compressive strength of boxes [C]//Material Strength and Applied Mechanics: Proceedings of the 7th International Conference (MSAM 2024). Amsterdam: IOS Press, 2024: 81–87.

[13] Salo M, Jokinen J, Vilkko M, et al. Extension of paperboard modelling with Föppl–von Karman terms for improved stress state under suction pressure [J]. Rakenteiden Mekaniikka, 2024, 57(3): 80–98.

[14] Ebrahimijamal M, Biel A, Tryding J, et al. Normal and shear delamination of paperboards [J]. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 2025, 40(3): 525–540.

[15] 王亚稳, 潘运豪, 毛智刚, 等. 纸基结构型缓冲包装系统的性能仿真及评价[J]. 中国包装, 2024, 44(8): 18–23.
Wang Yawen, Pan Yunhao, Mao Zhigang, et al. Performance simulation and evaluation of paper-based structural cushioning packaging system [J].

China Packaging, 2024, 44(8): 18–23.

[16] 陈南宁, 刘争号, 肖颖喆, 等. 基于 DEA-EWM-TOPSIS 算法的瓦楞纸箱配纸及楞型选择[J]. 中国造纸, 2024, 43(2): 148–157.
Chen Nanning, Liu Zhenghao, Xiao Yingzhe, et al. Paper types and flute profiles selection of corrugated box based on the DEA-EWM-TOPSIS model [J]. China Pulp & Paper, 2024, 43(2): 148–157.

[17] Wang Jun, Wang Zhiwei, Duan Fang, et al. Dropping shock response of corrugated paperboard cushioning packaging system [J]. Journal of Vibration and Control, 2013, 19(3): 336–340.

[18] 宋杰, 陈安军. EPS 非线性缓冲包装系统跌落冲击响应分析的线性化方法[J]. 噪声与振动控制, 2020, 40(4): 63–66, 108.
Song Jie, Chen Anjun. Linearization method for dropping shock dynamic response analysis in EPS nonlinear packaging systems [J]. Noise and Vibration Control, 2020, 40(4): 63–66, 108.

[19] 张婷婷, 张义, 李新立. 现代物流技术的酒类商品运输中缓冲包装设计[J]. 酿酒科技, 2020(5): 118–122.
Zhang Tingting, Zhang Yi, Li Xinli. Buffer packaging design for alcoholic commodities transportation based on modern logistics technology [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2020(5): 118–122.

[20] 谢颖佳, 张藩, 孙建明, 等. 苹果缓冲包装结构设计及性能分析[J]. 包装工程, 2025, 46(13): 169–175.
Xie Yingjia, Zhang Fan, Sun Jianming, et al. Structural design and performance analysis of apple buffer packaging [J]. Packaging Engineering, 2025, 46(13): 169–175.

[21] Gao De, Lu Fude. Nonlinear dynamic analysis of series cushioning system made with expanded polyethylene and corrugated paperboard [J]. Advances in Mechanical Engineering, 2013, 5: 816951.

[22] 吉美娟, 郭彦峰, 付云岗, 等. 纸瓦楞-蜂窝复合夹层结构的跌落冲击缓冲性能研究[J]. 工程力学, 2020, 37(10): 247–256.
Ji Meijuan, Guo Yanfeng, Fu Yungang, et al. Study on drop impact cushioning performance of paper corrugated-honeycomb composite sandwich structure [J]. Engineering Mechanics, 2020, 37(10): 247–256.

[23] 潘丹, 郭彦峰, 付云岗, 等. 纸夹芯和泡沫复合层状结构的动态缓冲吸能特性研究[J]. 实验力学, 2019, 34(4): 711–720.
Pan Dan, Guo Yanfeng, Fu Yungang, et al. On the characteristics of dynamic buffer energy absorption of composite layered structures made of paper sandwich core and polyethylene foam [J]. Journal of Experimental Mechanics, 2019, 34(4): 711–720.

[24] Ada E, Kazancoglu Y, Lafcı Ç, et al. Identifying the drivers of circular food packaging [J]. Sustainability, 2023, 15(15): 11703.

[25] 郭振安. 包装材料对电气设备安全性能的影响与优化策略研究[J]. 上海包装, 2025(9): 16–18.
Guo Zhen'an. Research on influence of packaging materials on safety performance of electrical equipment and optimization strategies [J]. Shanghai Packaging, 2025(9): 16–18.

[26] 李继鸿, 张怡. 灯具缓冲包装的绿色优化设计及验证研究: 基于瓦楞纸箱材料与结构的多目标改进[J]. 绿色包装, 2025(12): 22–26.
Li Jihong, Zhang Yi. Green optimization design and validation research of lamp cushioning packaging: based on multi-objective improvement of corrugated box materials and structures [J]. Green Packaging, 2025(12): 22–26.

[27] 黄诚毅, 全晓东, 顾永红, 等. 基于主观客观组合赋权综合指标的电压暂降评估[J]. 农村电气化, 2025(12): 70–76.
Huang Chengyi, Quan Xiaodong, Gu Yonghong, et al. Assessment of voltage sags based on multidimensional indicators with subjective and objective weighting [J]. Rural Electrification, 2025(12): 70–76.

[28] Kizielewicz B, Tomczyk T, Gandor M, et al. Subjective weight determination methods in multi-criteria decision-making: a systematic review [J]. Procedia Computer Science, 2024, 246: 5396–5407.

[29] 徐耀玲. 评估指标权重设计方法与案例分析[J]. 科技促进发展, 2011, 7(1): 62–67.
Xu Yaoling. The evaluation indicator weight design and the Case analysisv [J]. Science & Technology for Development, 2011, 7(1): 62–67.

[30] 赵瑞宁, 张媛, 朱磊. 减量标准化的绿色包装在快递行业中城市实践差异研究[J]. 包装工程, 2025, 46(21): 239–247.
Zhao Ruining, Zhang Yuan, Zhu Lei. Urban implementation discrepancies of streamlined and standardized green packaging practices in express delivery sector [J]. Packaging Engineering, 2025, 46(21): 239–247.

[31] Hao Jie, Qiao Peng, Wang Jin, et al. Advanced packaging technology for fresh fruit: from anti-damage and preservation to intelligent monitoring [J]. Trends in Food Science & Technology, 2025, 166: 105369.

(责任编辑：蔡世佳　韩晓红)