

跨境物流轻量化复合包装材料在运输成本控制中的应用

韦崇

南京永化包装制品有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i5.16584

[摘要] 本研究聚焦于轻型复合包装材料在跨国物流运输成本管理方面的应用,并构建了一个以重量减少率(WR)和体积使用效率(VU)为核心的模型、以防护性能指数(PI)和单位运输成本降低率(CR)为中心建立综合评估模型。采用1000件跨境电商产品作为研究样本,研究结果揭示,与传统纸箱相比,复合蜂窝纸板的重量降低了47.6%,同时其体积的使用效率也增加了3.1%,防护性能指标增长了31.4%,货物损失率减少了39.1%,每单位的运输成本下降了12.4%,从而节省了大约11000元。经过为期四周的现场监测,各项指标均稳定处于较高水平,验证了该物资在减轻空运计费重量、提高装载效率及减少货损等方面有着明显而持久的优越性,为跨境电商、高附加值商品运输等领域提供一种切实可行、低碳、节约的解决方案。

[关键词] 跨境物流; 轻量化复合包装; 运输成本控制; 防护性能

中图分类号: F530.51 **文献标识码:** A

The application of lightweight composite packaging materials in cross-border logistics in transportation cost control

Chong Wei

Nanjing Yonghua Packaging Products Co., Ltd

[Abstract] This study focuses on the application of lightweight composite packaging materials in cross-border logistics and transportation cost management, and constructs a comprehensive evaluation model with weight reduction rate (WR) and volume use efficiency (VU) as the core, and a comprehensive evaluation model centered on the protection performance index (PI) and unit transportation cost reduction rate (CR). Using 1,000 cross-border e-commerce products as a research sample, the research results revealed that compared with traditional cartons, the weight of composite honeycomb cardboard was reduced by 47.6%, and its volume efficiency was also increased by 3.1%, the protective performance index increased by 31.4%, the cargo loss rate was reduced by 39.1%, and the transportation cost per unit was reduced by 12.4%, thus saving about 11,000 yuan. After four weeks of on-site monitoring, all indicators are stable at a high level, which verifies that the material has obvious and lasting advantages in reducing air freight chargeable weight, improving loading efficiency and reducing cargo damage, and provides a practical, low-carbon and economical solution for cross-border e-commerce, high value-added commodity transportation and other fields.

[Key words] cross-border logistics; Lightweight composite packaging; transportation cost control; Protective properties

引言

随着全球供应链加速重构和跨境电商不断增长,运输成本和包装优化已成为国际物流企业竞争的核心重点。传统纸箱及木箱虽然具有一定的防护性能,但由于其质量和体积偏差较大,造成空运及长途运输时费用较高。随着环保法规的日益苛刻和绿色物流理念的推广,轻量化复合包装材料逐渐出现,它集蜂窝纸板、塑料泡沫和纤维增强复合板于一体,具有高强度、优异缓

冲和可回收特性。在结构设计过程中,利用有限元分析(FEA)和3D建模技术来实现精确的受力和贴合设计;生产工艺则是通过热压成型和冷压复合等方法来提高一致性和耐候性。

1 跨境物流包装材料概况

随着物流业的蓬勃发展,轻量化的复合包装材料逐步推广,各种材料的复合达到了高强度、优异保护性和减重的双重效果。蜂窝纸板、泡沫塑料等以其轻质及优良的缓冲性能,不仅减轻了

重量, 而且增强了保护性, 减少了在运输过程中被破坏的风险, 是跨境物流的一种新型选择。

跨境物流需要大量的包装材料来保护商品和减少运输损耗, 然而, 在国际贸易复杂化的大环境下, 包装材料的选择面临着多重挑战。不同国家的运输标准与包装规范存在显著差异, 例如一些国家木材包装检疫较严, 而另一些地区对于环保材料的需求则更高, 这就使得企业需要以目的地法规为导向进行精细设计并加大了实施难度。

2 轻量化复合包装材料对运输成本的影响

2.1 运输成本构成分析

跨境物流运输成本主要包括运费、仓储费用以及包装费用等, 而包装费用又与包装材料重量、体积等因素紧密相关, 对整体成本产生直接影响。运输费用一般以商品的重量、体积为基础, 空运时按实际重量和体积重量较大者收费。传统木箱、纸箱的重量与体积都比较大, 造成计费的重量与体积较高, 加大运费的收取。使用蜂窝纸板, 泡沫及其他轻质复合包装材料有效地减小包装体积, 进而降低运输成本。

2.2 轻量化复合包装材料的优势

轻量化复合包装材料应用于跨境物流已显示出明显的优越性, 特别是在降低运输成本、提高效率在物流行业对成本控制需求越来越高的大环境下, 轻量化复合包装材料成为优化运输成本的一个重要途径。国际物流的运输费用大多是以重量与体积来衡量的, 空运对这两项指标的依赖性特别大。由于传统的纸箱和木箱具有较大的体积和较高的重量, 这导致了运输成本相对较高; 蜂窝纸板和塑料泡沫等轻质材料不但显著减轻了重量而且减小了体积, 因此运输成本下降。较小而紧凑的设计提高了运输容器的空间利用率、降低空载率, 进一步降低了单位运输成本。

3 轻量化复合包装材料的模拟分析与评估

3.1 模拟模型的构建

为科学评估轻量化复合包装材料在跨境物流运输成本控制中的作用, 本研究构建了一个基于多指标综合评价的数值模拟模型。模型的目标是通过量化分析不同包装方案对运输成本及综合效能的影响, 从而确定最佳方案。指标选取: 综合考虑跨境物流特点及包装材料的实际应用需求, 选取以下四个核心评价指标: 重量减轻率(WR): 反映轻量化程度, 对运输成本影响显著, 尤其在空运中。体积利用率(VU): 衡量包装在运输容器中的空间占用效率, 直接关系装载效率。防护性能指数(PI): 反映包装材料抵御冲击、振动、挤压的能力。单位运输成本降低率(CR): 综合反映包装优化带来的直接经济效益。模型结构建立轻量化复合包装综合效能指数模型(Lightweight Composite Packaging Performance Index, LCPPI):

$$LCPPI = \sum_{i=1}^4 w_i \cdot N_i$$

其中:

w_i 为第 i 个指标的权重, 由专家打分法和层次分析法(AHP)综合确定。

N_i 为第 i 个指标的归一化值(0~1之间)。

结合跨境物流行业专家评分, 本研究确定权重: $w_{WR}=0.35$; $w_{VU}=0.25$; $w_{PI}=0.20$; $w_{CR}=0.20$

模型假设条件: 包装材料成本在整体运输成本中占比不超过15%; 仓储费用与包装体积呈线性关系; 防护性能指数通过标准跌落试验与冲击试验数据归一化获得; 空运计费重量采用体积重量与实际重量取大值原则。该模型可实现对不同包装材料方案进行可量化比较, 为物流企业选材决策提供参考依据。

3.2 数值模拟参数的设定

为确保模拟结果具有可行性与可比性, 依据实际跨境物流数据及行业标准, 设定如下计算公式和参数: 重量减轻率(WR)。

$$WR = \frac{W_{trad} - W_{comp}}{W_{trad}} \times 100\%$$

其中 W_{trad} 为传统包装重量(kg) W_{comp} 为轻量化复合包装重量(kg) 体积利用率(VU)

$$VU = \frac{V_{cargo}}{V_{container}} \times 100\%$$

其中 V_{cargo} 为装载的货物体积(m^3) $V_{container}$ 为运输容器总容积(m^3) 防护性能指数(PI)

$$PI = \frac{E_{abs}}{E_{max}}$$

其中 E_{abs} 为包装在冲击测试中的能量吸收值(J) E_{max} 为相同条件下参考包装的最大吸能值(J); 单位运输成本降低率(CR)

$$CR = \frac{C_{trad} - C_{comp}}{C_{trad}} \times 100\%$$

其中: C_{trad} 为传统包装方案下的单位运输成本(元/件) C_{comp} 为轻量化复合包装方案下的单位运输成本(元/件); 模拟参数范围(依据调研及行业经验值设定): 传统纸箱重量: 1.8~2.5kg; 复合蜂窝纸板重量: 1.0~1.3kg; 标准集装箱容积: 67.5 m^3 ; 防护性能参考最大吸能值: 50J; 单位运输成本(空运): 传统包装85~95元/件, 轻量化包装75~82元/件。

4 轻量化复合包装材料的关键技术与应用

4.1 关键技术的介绍

轻量化复合包装材料技术涉及材料科学, 结构设计及生产工艺等多个领域, 其目的是在确保运输安全和防护性能前提下, 实现重量和体积的最优化。在材质上, 蜂窝纸板以其具有高的比强度, 优异的缓冲性以及可回收性等特点而占据主流地位, 塑料泡沫以其良好的吸能性以及防潮性被广泛应用于高附加值的商品中, 纤维增强复合板对受集中载荷的运输具有稳定的支撑力。

4.2 应用案例分析

跨境电商平台上电子产品的出口工程, 为轻量化复合包装的运用提供了一个典型的范例。该平台以便携式音响和蓝牙耳机为主的小型高值电子设备对于运输保护的需求较大。在初

始阶段,使用了三层的瓦楞纸箱,每件重量为2.1kg,体积为0.065m³,其防护性能指数大约为0.70。由于空运计费的重量较大,长途运输时的货物损失率高达2.3%,这无疑增加了退换货和赔偿的成本。改用复合蜂窝纸板,外接高强度蜂窝结构的内衬与自定义的EPE泡沫相结合吸收冲击能量,采用3D建模的方法对内衬进行优化,以减小空隙和提高堆码效率。优化后单件重量降至1.1kg,体积缩至0.060m³,容器利用率由96%升至99%,货损率降至1.4%。模拟的数据表明,从运输成本89元/件减少到78元/件,每件1000件节约大约11000元,货物损失赔偿减少了近40%,这显著地提高了成本管理和客户的满意度。

4.3 技术挑战与发展方向

轻量化复合包装在跨境物流普及仍面临材料性能、成本和法规等挑战。部分材料在高湿、高温环境下易出现强度衰减或变形,长途海运及热带运输需采用耐湿增强剂或防潮涂层改进。成本方面,其原材料和加工费用高于传统纸箱,虽整体运输成本可降12.4%,但初期投入的单价和模具研发费较高,对中小企业形成压力。法规上各国在环保标准、回收比例及检验要求上差异大,需多版本设计,增加库存与管理难度。智能化与可追溯性将成为关键方向,整合RFID、温湿度传感器实现实时监控与优化设计;材料研发将聚焦可降解高分子与纳米增强材料,结合AI仿真优化提升性能;生产将向灵活、定制化转型,5至10年内有望在跨境电商、精密仪器及冷链运输等领域大规模推广。

5 轻量化复合包装材料在运输成本控制中的实施效果

5.1 现场监测与数据收集

在跨境电商空运项目中,对采用轻量化复合蜂窝纸板包装的1000件货物进行为期4周的现场监测,采集重量减轻率(WR)、体积利用率(VU)、防护性能指数(PI)及单位运输成本降低率(CR)四项指标。监测数据如表1所示。

表1 轻量化复合包装材料现场监测数据表

周次	WR (%)	VU (%)	PI	CR (%)
第1周	47.5	98.7	0.91	12.3
第2周	47.6	98.9	0.92	12.4
第3周	47.4	99	0.93	12.5
第4周	47.6	99.1	0.92	12.4

5.2 实施效果的评估

由表1监测数据可知,4周时间内四项指标波动最小,并维持在一个比较高的水平,表明轻量化复合包装材料具有实际运行的稳定性和可靠性。重量减轻率一直保持在47.4~0.93,有效地降低了运输中货损风险;单位的运输成本降低幅度维持在12.3%至12.5%之间,这反映了成本节约效益的持久稳定性。

6 结论

研究成果充分证明了轻量化复合包装材料能够对跨境物流运输进行多维度协同优化:显著减重从而减少空运计费重量,本实用新型优化了体积,提高了装载效率,降低了货损率的同时提高了防护性能,最终导致运输成本平稳降低。以具体的案例样本为研究对象,观察到重量下降了47.6%,体积的使用效率增加到了99%,防护性能指标上升了31.4%,同时运输的成本也减少了12.4%,这带来了经济和防护两方面的双重益处。但它的普及仍然受到材料成本,环境适应性和国际法规差异的制约。在可降解高分子和纳米增强材料研究开发成熟的同时,将智能化和可追溯技术相结合使用,轻量化复合包装可望在跨境电商,精密仪器及冷链运输等高要求的领域大规模推广,促进全球物流行业朝着绿色,高效和可持续的方向发展。

[参考文献]

- [1]赵思斯.供应链数字化背景下跨境电商物流发展研究[J].新疆职业大学学报,2025,33(02):46-49+80.
- [2]李梅,徐宗恒,刘成华.低空经济视角下的跨境物流优化:现实挑战与提升路径[J].南宁师范大学学报(自然科学版),2025,42(03):49-56.
- [3]齐国营.市场经济下交通物流运输经济管理路径探析[J].商展经济,2025,(09):127-130.
- [4]张曼.跨境电商与跨境物流的协同发展研究[J].全国流通经济,2025,(05):100-103.
- [5]郑泓洋,刘云飞.跨境电商背景下的物流创新创业路径研究[J].中国航务周刊,2024,(49):54-56.

作者简介:

韦崇(1979—),男,汉族,辽宁沈阳人,研究方向:绿色包装生产管理 with 研发。