

基于 ANSYS 的烟草商业物流可降解缠绕 包装运输可靠性研究

陈超¹, 梅运鹏¹, 韩笑¹, 李荣国², 张洁瑞^{3a}, 曾昭杰^{3b}, 杨莉^{3a}, 韩非^{4*}

(1.陕西省烟草专卖局, 西安 710061; 2.陕西省烟草公司西安市公司, 西安 710061;

3.长安大学 a.水利与环境学院 b.工程机械学院, 西安 710064;

4.国家烟草专卖局, 北京 100045)

摘要: **目的** 基于烟草商业物流实际场景需求, 探究烟草商业物流可降解薄膜缠绕包装的运输可靠性, 为烟草商业物流包装的绿色转型和推广应用提供参考。**方法** 结合西安市烟草公司卷烟物流配送中心的调研数据, 以低密度聚乙烯 (LDPE) 薄膜热缩包装为对照, 利用 ANSYS 有限元分析软件对可降解薄膜缠绕包装进行静力学分析和随机振动模拟。**结果** 在相同静态载荷作用下, 可降解薄膜缠绕包装的最大变形量约为 LDPE 薄膜热缩包装的 1/5。水平随机振动对烟包顶部薄膜的影响较大, 可降解薄膜缠绕包装的变形量小于 LDPE 薄膜热缩包装; 垂直振动中薄膜变形主要集中在烟包中部, 可降解薄膜缠绕包装的最大变形量仅为 LDPE 薄膜热缩包装的 1/3。**结论** 仿真模拟结果证实, 可降解薄膜缠绕包装的运输可靠性优于 LDPE 薄膜热缩包装, 研究结论可为卷烟物流包装的工艺升级和绿色转型提供理论支持和方法参考。

关键词: 烟草商业物流; 可降解包装; 可靠性; ANSYS 有限元分析

中图分类号: TB484

文献标志码: A

文章编号: 1001-3563(2025)05-0209-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2025.05.026

Transport Reliability of Degradable Film Wrapping Packaging for Tobacco Commercial Logistics Based on ANSYS

CHEN Chao¹, MEI Yunpeng¹, HAN Xiao¹, LI Rongguo², ZHANG Jierui^{3a},
ZENG Zhaojie^{3b}, YANG Li^{3a}, HAN Fei^{4*}

(1. China Tobacco Shaanxi Industrial Co., Ltd., Xi'an 710061, China; 2. Xi'an Company, China Tobacco

Shaanxi Industrial Co., Ltd., Xi'an 710061, China; 3. a. School of Water and Environment,

b. School of Construction Machinery, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

4. State Tobacco Monopoly Administration, Beijing 100045, China)

ABSTRACT: The work aims to clarify the transport reliability of wrapping packaging with degradable film for tobacco commercial logistics based on the current scenario of tobacco commercial logistics, so as to provide reference for green transformation and extensive application of tobacco commercial logistics packaging. Taking LDPE film shrink packaging as comparison, ANSYS finite element analysis software was introduced in the static analysis and random vibration simulation of degradable film wrapping packaging, based on the survey data from Xi'an Tobacco Logistics Distribution Center. The results showed that the maximum deformation amount of degradable films in wrapping packaging accounted

收稿日期: 2024-12-26

基金项目: 中国烟草总公司 2022 年度科技项目 (110202202035); 陕西省烟草公司 2022 年度科技项目 (KJ-2022-08)

*通信作者

for 1/5 of that in LDPE film shrink packaging under the same static load. In the horizontal random vibration simulation, the film on the top of the cigarette packs was the most vulnerable to vibration, and degradable films in wrapping packaging exhibited less deformation compared with LDPE film shrink packaging. And film deformation in the vertical random vibration mainly existed on the middle part of the cigarette pack, and the maximum deformation of degradable films in wrapping packaging was only 1/3 of that in LDPE film shrink packaging. In conclusion, the transport reliability of degradable film wrapping packaging is superior to LDPE film shrink packaging. The work may provide theoretical support and methodological reference for the process upgradation and green transformation of tobacco commercial logistics packaging.

KEY WORDS: tobacco commercial logistics; degradable packaging; reliability; ANSYS finite element analysis

“双碳”背景下,绿色发展理念引领社会经济发展模式向绿色化和低碳化方向转型。为积极推进烟草行业绿色低碳发展,2022年1月,国家烟草专卖局发布实施意见^[1],要求加快建立绿色高效的烟草物流体系,全面提升烟草物流绿色低碳发展水平。作为烟草物流体系的重要组成部分,烟草商业物流承担着根据客户订单将不同品类的卷烟进行仓储、分拣、包装及配送等业务活动。近年来,按照国家“碳达峰”和“碳中和”部署要求,烟草商业物流从物流包装的绿色化转型入手,围绕包装材料和包装技术2个方面开展了深入的研究和实践^[2]。一方面探索将不可降解包装材料替换为可降解或可循环的包装材料^[3-6],另一方面关注由高能耗的热缩包装技术向节能降碳优势突出的不加热包装技术转型。

烟草商业物流所涉及的卷烟产品种类多且价值高,具有订单数量多、标准运距长、单次大批量运输等特点^[7]。烟草物流中心对分拣后的卷烟产品分组并利用包装材料进行烟草商业物流包装后,将烟包整齐码放在送货车厢内,再由送货车根据送货路线将烟包配送至客户。可见,烟草商业物流包装是达成烟包稳固完整性和送货运输可靠性的重要保障。然而,新颖的绿色包装能否在烟草商业物流实际场景中切实满足卷烟产品安全稳固和运输可靠高效的要求,尚待借助科学的手段对其运输可靠性进行论证。近年来,利用 ANSYS 有限元分析软件开展运输过程的仿真模拟,为运输可靠性研究提供了新的思路。高宾等^[8]在铅蓄电池的包装运输可靠性研究中,借助有限元分析软件 ANSYS Workbench 进行跌落仿真分析和随机振动分析,确定了不同包装在运输过程中产生最大变形量的位置,为铅蓄电池包装箱的设计提供了重要参考。雷鸣等^[9]运用 ANSYS Workbench 软件并结合实验室动力学测试,对新型木质包装进行有限元仿真分析,证实木质包装能有效满足产品的保护要求并实现推广应用。孙德强等^[10]在投影仪运输包装的防护性能和安全性能研究中,通过随机振动实验得到了产品重力加速度功率谱密度曲线,并进一步结合 ANSYS Workbench 有限元分析软件对包装件进行模态分析、随机振动分析和跌落分析,验证了包装结构设计的合理性。

基于烟草商业物流可降解薄膜缠绕包装的前期探索和实践^[2,11],本文结合西安市烟草公司卷烟物流配送中心的调研数据,以低密度聚乙烯(LDPE)薄膜热缩包装为对照,运用 ANSYS 有限元分析软件对可降解薄膜缠绕包装进行静力学分析和随机振动模拟,开展可降解包装的运输可靠性分析,以期对烟草商业物流包装的绿色转型和推广应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 薄膜包装材料性能

本文关注的2种薄膜包装均来自西安市烟草公司卷烟物流配送中心,其中LDPE薄膜是烟草商业物流传统的薄膜包装材料,具有废弃后难降解的缺陷^[12];可降解薄膜包装材料选用聚乳酸/己二酸-对苯二甲酸-丁二酯共聚物(PLA/PBAT),其中PLA和PBAT的比例为3:7,该薄膜具有环境友好性^[11]。采用东日仪器有限公司的DR-5010A万能材料拉力试验机,参照GB/T 1040.3—2006,对150 mm×15 mm的薄膜试样以5 mm/min的拉伸速度进行测试,并通过计算得到LDPE薄膜和可降解薄膜的泊松比,见式(1)。

$$\nu = -\frac{\Delta D / D_0}{\Delta L_b / L_0} \quad (1)$$

式中: ν 为泊松比; ΔD 为拉伸过程中薄膜横向尺寸的变化量,mm; D_0 为薄膜的原始横向尺寸,mm; ΔL_b 为薄膜断裂时的伸长量,mm; L_0 为薄膜的原始长度,mm。

对比相关力学性能参数(表1)可知,上述2种薄膜包装具有不同的力学性能。其中,不可降解的LDPE薄膜厚度大且穿刺强度较高,有利于承受机械冲击并保障烟包的完整性;可降解薄膜密度较大,弹性模量和体积模量较高,良好的韧性,在烟包承受冲击和保护变形方面性能突出。

1.2 包装工艺参数

本文关注的包装技术包括热缩包装法和缠绕包装法。其中,热缩包装法(图1a)是烟草商业物流包装中普遍采用的传统包装技术,即在150℃的高温

表 1 LDPE 薄膜和可降解薄膜的力学性能参数
Tab.1 Mechanical parameters of LDPE film and degradable film

项目	LDPE 薄膜	可降解薄膜
厚度/mm	0.075	0.025
密度/(g·cm ⁻³)	0.97	1.25
拉伸强度/MPa	24.69	25
断裂伸长率/%	253.03	215.93
穿刺强度/N	758	421
弹性模量/MPa	75	300
泊松比 ν	0.40	0.45
体积模量/MPa	100	300
剪切模量/MPa	35	100
拉伸屈服强度/MPa	15	20
压缩屈服强度/MPa	1.5	6
拉伸极限强度/MPa	18.5	30
极限压缩强度/MPa	1.5	6

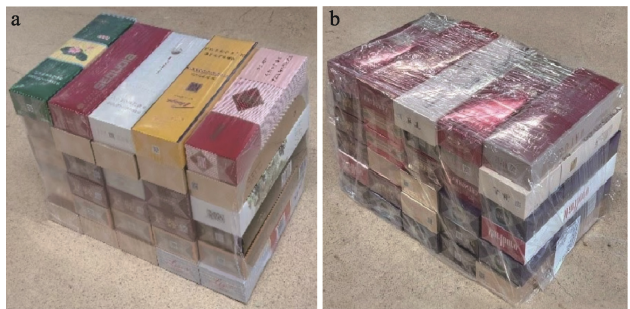


图 1 LDPE 薄膜热缩烟包包装 (a),
可降解薄膜缠绕烟包包装 (b)
Fig.1 LDPE film shrink cigarette packaging (a) and
degradable film wrapping cigarette packaging (b)

下使 LDPE 薄膜发生热缩并在烟包外侧形成紧密的单层薄膜包装。缠绕包装法(图 1 b)是针对不可热缩的可降解薄膜开发的包装技术,首先使用宽度为 510 mm 的可降解薄膜对烟包横向缠绕 1 圈,再用宽度为 130 mm 的可降解薄膜纵向缠绕 3 圈(简称一横三纵),以形成烟包上下两面至少覆盖 2 层可降解薄膜、其余 4 面覆盖 1 层可降解薄膜的紧凑稳固包装。根据 GB/T 19785—2005《拉伸缠绕包装》和 BB/T 0024—2018《运输包装用拉伸缠绕膜》等相关标准,在实际工况下利用韦度 ZMF-100 推拉力计及卷尺测得可降解薄膜包装承受的拉力为 24 N,拉伸率为 130%,计算得到可降解薄膜缠绕包装的松紧度为 93.6 N,拉伸保持率 $\geq 50\%$ 。松紧度满足烟包包装要求,可降解薄膜一横三纵缠绕包装紧凑,烟包内各烟条间接触紧密。

对比 2 种包装技术,缠绕包装法弥补了热缩包装法加热过程所造成的高能耗和高碳排放量的缺陷,具有突出的节能降碳优势。

1.3 烟草商业物流场景描述

物流场景的描述和分析是包装运输可靠性论证的重要基础。烟草商业物流的配送环节中,复杂的运输条件、多点配送的送货方式及频繁拥堵的交通路况均会导致送货车辆颠簸和反复起步、制动及停车,从而对车厢内的烟包造成反复的机械冲击和振动影响^[13-14]。因此,本文基于西安市公司卷烟物流配送中心的调研数据进行物流场景总结,并确定有限元仿真中静力学分析和随机振动模拟相关基础数据。

根据现场调研,西安市公司卷烟物流配送中心按照采购订单将卷烟产品进行分拣,烟包主要经历 3 个环节。

1) 包装环节,利用包装机械对烟包进行薄膜包装。以标准烟的烟包为例,每个烟包最多包含 6 层,每层 5 条烟,平均质量为 5.44 kg。

2) 搬运环节,由人工利用笼车将包装好的烟包转运至送货车厢内,并分列码放整齐。据调研,送货车厢最多可容纳 350 个烟包,每列码放 5 个烟包,其中最下层的烟包负荷最大,为 26.2 kg。

3) 配送环节,西安市公司卷烟物流配送中心目前采用轻型依维柯厢式货车^[15],按照 4 条线路分区(东区、西区、中区、内环)运输送货。其中,东区和西区道路轻微拥堵且偶尔颠簸,中区和内环道路比较平坦但拥堵频繁。全市最远配送里程为 120 km,最长配送耗时 7 h。

1.4 包装可靠性有限元仿真模拟分析

ANSYS 作为一个完整的有限元分析(Finite Element Analysis, FEA)软件包,适用于许多工程领域,可模拟不同材料的物理特性(如密度、弹性模量、泊松比等),为评估包装结构在载荷作用下的表现提供了重要手段^[16]。本文运用 ANSYS 软件开展可降解薄膜缠绕包装的有限元仿真分析,首先利用 Solid Works 软件构建模型,导入 ANSYS Workbench 中创建有限元模型进行分析;然后通过静力学分析评估结构在静态载荷作用下的强度和稳定性^[17],预测薄膜包装受力时的变形情况;最后通过 ANSYS 随机振动模拟可降解薄膜包装在随机振动条件下的变形情况,从而全面分析可降解薄膜包装在随机振动环境中的运输可靠性。

1.4.1 烟包模型的仿真配置

结合 1.3 中烟草商业物流场景的调研数据,在 Solid Works 软件中构建三维模型并导入 ANSYS Workbench 创建仿真模型(图 2)。根据表 1 对 30 条标准烟的烟包(6×5)分别进行 LDPE 薄膜热缩包装和可降解薄膜缠绕包装的模型构建。在仿真过程中,将包装薄膜内部的纸盒简化为刚性约束体,忽略纸盒的弹性变形及其对整体结构动力学响应的影响。考虑到卷烟包装纸盒外侧有 1 层包装薄膜,在烟包运输过程中

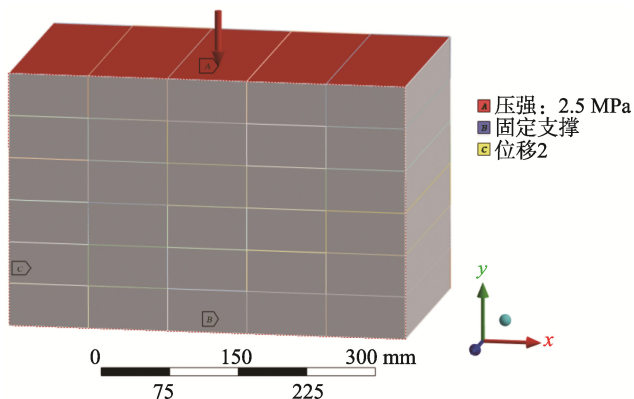


图2 ANSYS Workbench中创建的仿真模型配置
Fig.2 Configuration diagram of simulation model created in ANSYS Workbench

包装纸盒之间实际未有直接接触,因此烟包内各烟条间的接触状态为无分离,不考虑摩擦因数。烟包底面采用固定支撑约束,随机振动模拟时振动频谱从固定支撑面传入。

1.4.2 静力学分析

静态载荷下烟包包装的完整稳固性是保障运输可靠性及卷烟产品质量的重要前提。根据1.3节,送货车厢内每列码放的5个烟包中,最下层的烟包(质量为5.44 kg)所承受的质量载荷最大,为26.2 kg。以该烟包为对象,对烟包模型网格进行划分(网格尺寸为20 mm),并在ANSYS Workbench中设置烟包模型垂向压强为2.5 MPa,即可得到LDPE薄膜热缩包装和可降解薄膜缠绕包装的烟包总变形。

1.4.3 随机振动模拟

基于多样的运输条件、区域内多点配送方式及交通拥堵路况,烟包在运输配送过程受到复杂且不规则的振动影响,给烟包的结构完整性和包装可靠性带来巨大挑战。其中,送货车辆在转弯、变道及不平整的道路上行驶会引起烟包的水平振动,而车辆加速、减速及路面颠簸时则会产生垂直振动^[18-19]。

将GB/T4857.23—2021中车辆配送运输模拟功率谱密度(表2)导入ANSYS Workbench中,得到进一步拟合的PSD曲线(图3),在该频率条件下对不同包装的烟包进行水平和垂直方向的随机振动仿真模拟,即可得到烟包总变形。

2 结果与讨论

2.1 静力学分析

通过比较静力学分析总变形云图可知,LDPE薄膜热缩包装(图4)和可降解薄膜缠绕包装(图5)的烟包均会在静态载荷作用下产生变形,且最大变形均位于烟包的棱角部位。在相同的静态载荷作用下,LDPE薄膜热缩包装的烟包在棱角处的变形明显,对

薄膜造成的最大变形为0.453 mm;而可降解薄膜缠绕包装的烟包在棱角处的变形范围较大,对薄膜造成的最大变形仅为0.096 mm。

表2 车辆配送运输模拟 PSD 谱
Tab.2 Vehicle delivery and transportation simulation PSD spectrum

频率/Hz	功率谱密度/($g^2 \cdot Hz^{-1}$)
1	0.001
3	0.035
4	0.035
7	0.000 3
13	0.000 3
15	0.001
24	0.001
29	0.000 1
50	0.000 1
70	0.002
100	0.002
200	0.000 05

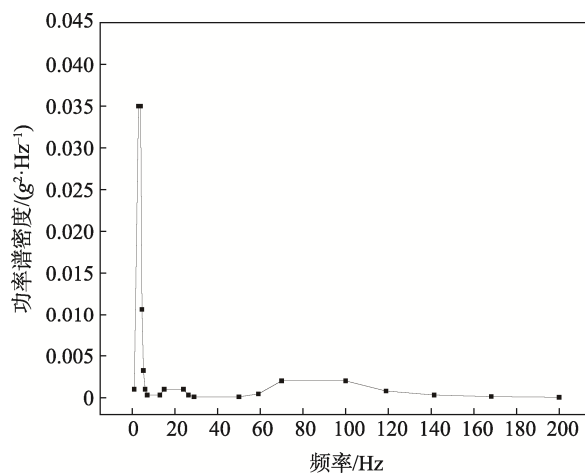


图3 ANSYS Workbench中拟合的PSD曲线
Fig.3 PSD curve fitted in ANSYS Workbench

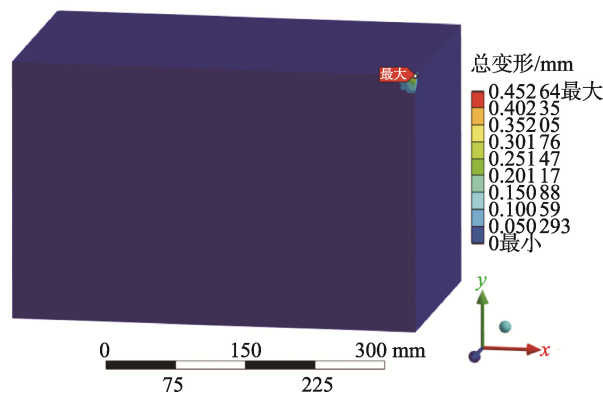


图4 LDPE薄膜热缩包装的烟包静力学分析总变形云图
Fig.4 Contour of total deformation in static analysis of cigarette pack with LDPE film shrink packaging

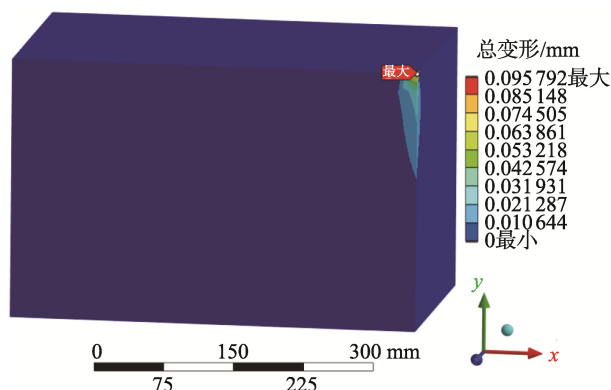


图 5 可降解薄膜缠绕包装的烟包
静力学分析总变形云图

Fig.5 Contour of total deformation in static analysis of cigarette pack with degradable film wrapping packaging

相比之下,可降解薄膜缠绕包装在静态载荷作用下的最大变形量约为 LDPE 薄膜热缩包装的 1/5,这说明厚度大且热缩后的 LDPE 薄膜呈现出载荷压力下变形大但变形范围小的特点;而可降解薄膜厚度小、韧性强,对烟包采用一横三纵的不加热缠绕法包装,在实现对烟包多层薄膜覆盖保护的同时,充分发挥了可降解薄膜的力学性能优势,达到了卷烟产品之间紧凑稳固且烟包整体不易变形的效果。因此,在静态载荷作用下,可降解薄膜缠绕包装实现了烟包完整性和稳定性,能有效满足将烟包人工搬运至送货车厢并整齐码放的非振动场景的力学要求。

2.2 随机振动模拟

2.2.1 水平方向随机振动模拟

由水平方向随机振动总变形云图可知,LDPE 薄膜热缩包装(图 6)和可降解薄膜缠绕包装的烟包(图 7)变形主要发生在烟包顶部。LDPE 薄膜热缩包装和可降解薄膜缠绕包装的顶部薄膜最大变形分别为 0.073 mm 和 0.054 mm。烟包顶部薄膜变形量由中心向棱角处逐渐减小,LDPE 薄膜热缩包装棱角处最大变形为 0.056 mm,而可降解薄膜包装在棱角处的最大变形为 0.054 mm。

对比可知,可降解薄膜缠绕包装的烟包顶部薄膜变形量明显小于 LDPE 薄膜热缩包装。烟包四周包装薄膜的变形量自上而下逐步减小,底部包装薄膜产生的变形量较小。与 LDPE 薄膜热缩包装相比,可降解薄膜缠绕包装的薄膜变形量呈现出更加均匀的自上而下逐层递减趋势。这可能是由于一横三纵缠绕包装更有利于烟包在随机振动条件下保持完整性并进行整体运动。可见,水平方向随机振动条件下,可降解薄膜缠绕包装的薄膜变形量总体小于 LDPE 薄膜热缩包装。

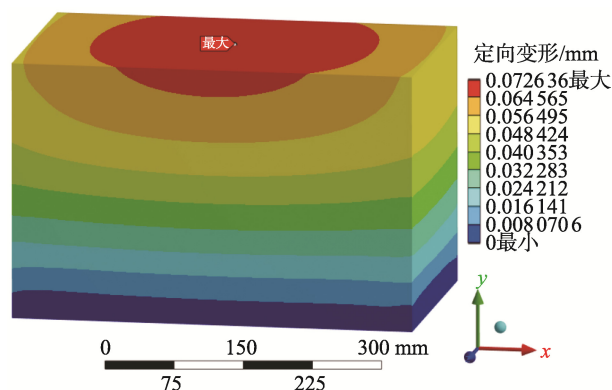


图 6 LDPE 薄膜热缩包装的烟包水平
方向随机振动总变形云图

Fig.6 Contour of horizontal random vibration total deformation of cigarette pack with LDPE film shrink packaging

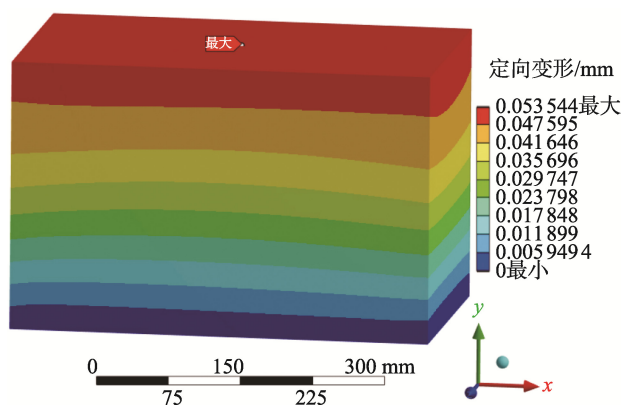


图 7 可降解薄膜缠绕包装的烟包水平
方向随机振动总变形云图

Fig.7 Contour of horizontal random vibration total deformation of cigarette pack with degradable film wrapping packaging

2.2.2 垂直方向随机振动模拟

对比 2 种包装工艺垂直方向的随机振动总变形云图(图 8~9)可知,2 种包装工艺处理的烟包薄膜变形主要出现在烟包中部,LDPE 薄膜热缩包装产生的最大变形(0.0018 mm)约为可降解薄膜缠绕包装产生的最大变形(0.0006 mm)的 3 倍,而 2 种烟包顶部薄膜的变形均较小。可降解薄膜缠绕包装的烟包中部薄膜产生的变形小但范围较大,这与缠绕法对烟包的紧凑稳固包装方式有关。在实际包装场景中,单层 LDPE 薄膜热缩包装的烟包侧面存在部分区域未被薄膜覆盖保护和捆扎固定的情况,有可能导致垂直振动时烟包中部的卷烟产品处于松散捆扎状态且位移较大,与四周的包装薄膜摩擦加剧并导致变形。综上,垂直方向随机振动仿真模拟证实,可降解薄膜缠绕包装的烟包在垂直振动过程中的包装效果优于 LDPE 薄膜热缩包装。

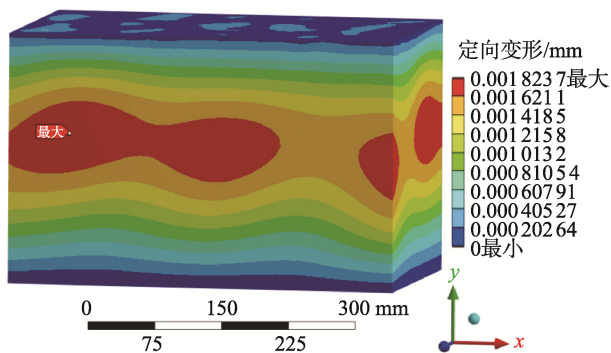


图8 LDPE薄膜热缩包装的烟包

垂直方向随机振动总变形云图

Fig.8 Contour of vertical random vibration total deformation of cigarette pack with LDPE film shrink packaging

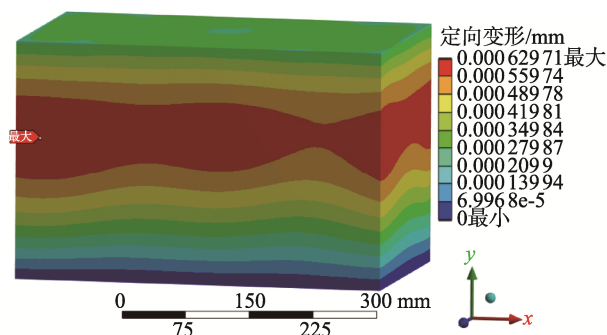


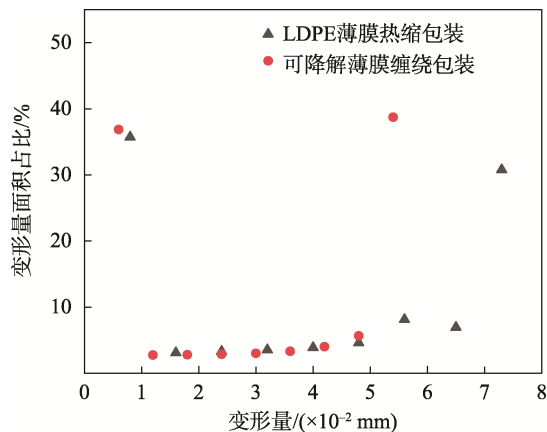
图9 可降解薄膜缠绕包装的烟包

垂直方向随机振动总变形云图

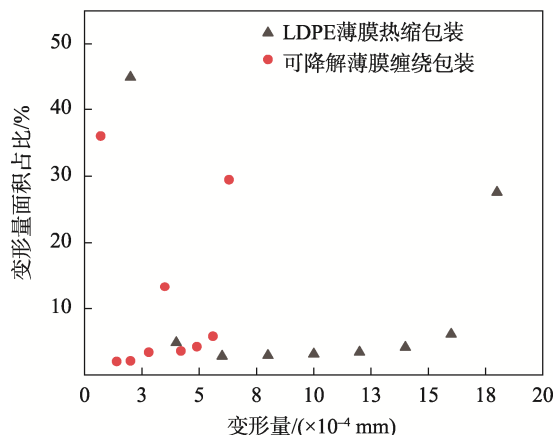
Fig.9 Contour of vertical random vibration total deformation of cigarette pack with degradable film wrapping packaging

2.2.3 随机振动模拟结果比较分析

为量化比较和分析可降解薄膜缠绕包装和LDPE薄膜热缩包装的薄膜变形量,利用Image J软件分别对不同包装工艺的随机振动仿真模拟总变形云图中变形量的面积进行识别统计并绘图(图10)。首先,在水平随机振动条件下(图10a),2种包装薄膜变形量 $<5.0 \times 10^{-2}$ mm的面积占比差别不大,但薄膜变形量较大的区域占比差异明显。LDPE薄膜热缩包装的薄膜变形量 $>5.0 \times 10^{-2}$ mm的面积占比高达37.8%,其最大变形量为 7.3×10^{-2} mm;而可降解薄膜缠绕包装的薄膜最大变形量仅为 5.4×10^{-2} mm,显著低于LDPE薄膜热缩包装的薄膜变形量。另外,由垂直随机振动模拟结果(图10b)可知,可降解薄膜缠绕包装的薄膜变形量集中在 $0 \sim 8.0 \times 10^{-4}$ mm,其最大变形量仅为 6.3×10^{-4} mm;而LDPE薄膜热缩包装的薄膜变形量区间明显大于可降解薄膜缠绕包装,且较大变形量的面积占比也相对较大,尤其是变形量 $>6.0 \times 10^{-4}$ mm的面积占比高达47.3%。这表明可降解薄膜缠绕包装在随机振动仿真模拟中展示出更加优异的包装效果。



a 水平振动



b 垂直振动

图10 仿真模拟中不同包装工艺的变形量面积占比统计

Fig.10 Statistical chart of deformation area proportion of different packaging in simulation

上述分析表明,可降解薄膜缠绕包装具有优异的包装效果和运输可靠性,有利于保障卷烟产品在运输振动过程中的安全稳固,可替代传统的LDPE薄膜热缩包装完成烟草商业物流配送环节的包装使命。

3 结论

通过本文分析,得出以下2点结论。

1) 基于ANSYS的静力学分析及随机振动模拟,证实烟草商业物流可降解薄膜缠绕包装具有良好的运输可靠性。

2) 可降解薄膜缠绕包装能满足烟草商业物流的实际运输场景需求,可替代传统LDPE薄膜热缩包装,为卷烟物流包装工艺升级和绿色转型提供了重要方向。

参考文献:

- [1] 刘平. 坚定不移走生态优先绿色低碳高质量发展之路[N]. 天津日报, 2022-09-01(2).
LIU P. Unswervingly Follow the Path of High-quality

- Development Featuring Prioritization of Ecology, Greenness, Low-carbon Emissions[N]. Tianjin Daily, 2022-09-01(2).
- [2] 韩笑, 李荣国, 黄山, 等. 基于环境绩效的烟草商业物流可降解薄膜包装优化研究[J]. 包装工程, 2024, 45(3): 276-283.
- HAN X, LI R G, HUANG S, et al. Optimization of Degradable Film Packaging for Tobacco Commercial Logistics Based on Environmental Performance[J]. Packaging Engineering, 2024, 45(3): 276-283.
- [3] ZHANG X F, LUO C L, REN H X, et al. Fully Biodegradable Film to Boost Rainfed Maize (*Zea Mays* L.) Production in Semiarid Kenya: An Environmentally Friendly Perspective[J]. European Journal of Agronomy, 2020, 119: 126124.
- [4] 江闻欣, 张广翔, 杨可, 等. 全生物降解高抗冲 PLA/PBAT 复合材料的制备与性能[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2024, 44(5): 31-37.
- JIANG W X, ZHANG G X, YANG K, et al. Preparation and Properties of Fully Biodegradable High Impact PLA/PBAT Composites[J]. Journal of Liaoning Petrochemical University, 2024, 44(5): 31-37.
- [5] 徐伟, 赵新亭, 尤里武, 等. PBAT/PLA 薄膜在受控堆肥条件下的生物降解性能[J]. 塑料工业, 2024, 52(1): 123-128.
- XU W, ZHAO X T, YOU L W, et al. Biodegradability of PBAT/PLA Films under Controlled Composting Conditions[J]. China Plastics Industry, 2024, 52(1): 123-128.
- [6] 贺坚, 张兴, 李晓峰, 等. 宝鸡市烟草公司卷烟弹性箱绿色包装实践[J]. 物流技术与应用, 2023, 28(12): 104-107.
- HE J, ZHANG X, LI X F, et al. Green Packaging Practice of Elastic Box for Cigarettes in Baoji Tobacco Company[J]. Logistics & Material Handling, 2023, 28(12): 104-107.
- [7] 郝博伦. 石家庄烟草物流中心配送系统优化研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2023.
- HAO B L. Research on Distribution System Optimization of Shijiazhuang Tobacco Logistics Center[D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology, 2023.
- [8] 高宾, 苗壮. 基于 ANSYS Workbench 的铅蓄电池包装件可靠性仿真分析[J]. 蓄电池, 2024, 61(2): 71-75.
- GAO B, MIAO Z. Reliability Simulation Analysis of Battery Packaging Based on ANSYS Workbench[J]. Chinese LABAT Man, 2024, 61(2): 71-75.
- [9] 雷鸣, 吴颖, 彭芳, 等. 基于 ANSYS 强度仿真与动力学测试的包装结构优化设计[J]. 包装工程, 2023, 44(21): 253-259.
- LEI M, WU Y, PENG F, et al. Optimization Design of Packaging Structure Based on Strength Analysis of ANSYS and Dynamic Testing Verification[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(21): 253-259.
- [10] 孙德强, 石威, 李彬, 等. 基于 Ansys Workbench 的投影仪运输包装仿真分析[J]. 包装工程, 2021, 42(9): 11-16.
- SUN D Q, SHI W, LI B, et al. Simulation Analysis of Projector Transport Packaging Based on Ansys Workbench[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(9): 11-16.
- [11] 韩笑, 陈超, 李荣国, 等. PLA 基可降解包装材料的回收利用研究进展[J]. 塑料工业, 2024, 52(6): 10-16.
- HAN X, CHEN C, LI R G, et al. Research Progress of the Recycling and Reusing of PLA-Based Degradable Packaging Materials[J]. China Plastics Industry, 2024, 52(6): 10-16.
- [12] HUANG C L, LIAO Y Q, ZOU Z J, et al. Novel Strategy to Interpret the Degradation Behaviors and Mechanisms of Bio- and Non-Degradable Plastics[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 355: 131757.
- [13] 张春雷. 烟草物流配送中心配送精细化管理体系建设[J]. 中国航务周刊, 2024(14): 66-68.
- ZHANG C L. Construction of Fine Distribution Management System in Tobacco Logistics Distribution Center[J]. China Shipping Gazette, 2024(14): 66-68.
- [14] 王根林, 马玲玲, 温阳强, 等. 烟草行业物流智能配送模式应用探究[J]. 中国物流与采购, 2023(14): 75-76.
- WANG G L, MA L L, WEN Y Q, et al. Research on the Application of Intelligent Logistics Distribution Mode in Tobacco Industry[J]. China Logistics & Purchasing, 2023(14): 75-76.
- [15] 商车. 安全高效 备受信赖 45 辆依维柯新能源车批量交付西安[J]. 商用汽车新闻, 2021(增刊 1): 4.
- SHANG (C /J). Safe, Efficient and Trusted, 45 Iveco New Energy Vehicles Were Delivered to Xi 'an in Batches[J]. Commercial Automotive News, 2021(Sup.1): 4.
- [16] 王钊杰. 基于 ANSYS 的组合结构缓冲包装缓冲性能试验与仿真模拟分析[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2023.
- WANG Z J. Test and Simulation Analysis of Cushioning Performance of Composite Structural Cushioning Materials Based on ANSYS[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2023.
- [17] 李世杰, 郭治富, 高志强. 基于 ANSYS 的换杆机械臂动静态结构分析[J]. 煤矿机电, 2023, 44(5): 7-11.
- LI S J, GUO Z F, GAO Z Q. Analysis of the Dynamic and Static Structure of a Rod Changing Robotic Arm Based on ANSYS[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2023, 44(5): 7-11.
- [18] 余淑涵. 重庆烟草现代物流配送体系构建研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2012.
- YU S H. Study on Modern Logistics Distribution System of Tobacco in Chongqing[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2012.
- [19] 余政涛. 道路—车辆—包装耦合振动动力学建模仿真及对运输安全影响研究[D]. 西安: 长安大学, 2022.
- YU Z T. Road-Vehicle-Packaging Coupled Vibration Dynamics Modeling and Simulation and Its Impact on Transportation Safe[D]. Xi'an: Chang'an University, 2022.