

基于有限元分析的可循环拉链邮袋仿真模拟研究

董迪

(1.邮政科学研究规划院有限公司,北京 100096;2.中国邮政集团有限公司邮政研究中心,北京 100096)

摘要: **目的** 设计质量、强度满足使用的可循环拉链邮袋,代替一次性邮袋,实现绿色发展理念。**方法** 设计可循环拉链邮袋结构,基于有限元分析模拟拉链邮袋实际应用中真实物理系统。分析拉链邮袋在材质、夹具固定方式、负载3种影响因素下的应力、应变、变形情况,比较仿真结果,确定可循环拉链邮袋材质并验证。**结果** 不同材质下,涤纶树脂(PET)变形量较小,高密度聚乙烯(HDPE)次之,聚丙烯(PP)变形量较大。不同固定方式下,袋口两短边夹具固定,袋口应力较集中,最大位移和应变较大,袋口四边夹具固定袋口变形较小、应力较小。不同负载下,负载与应力、位移、应变三者变化呈正相关,最大应力、位移、应变出现的位置较为稳定。**结论** 借助有限元分析模拟拉链邮袋实际应用中受力情况,分析不同材质、夹具固定方式、负载情况下,可循环拉链邮袋力学性能,节省人力、物力,为实际应用提供依据,同时,证明了涤纶树脂(PET)可应用于可循环拉链邮袋的制作,为绿色、环保、可降解、可循环拉链邮袋的制作奠定基础,对限塑、绿色发展有着重要的意义。

关键词: 可循环拉链邮袋;有限元分析;应力;应变;仿真模拟

中图分类号: TB482 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)15-0234-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.15.027

Simulation of Recyclable Zipper Mail Bag Based on Finite Element Analysis

DONG Di

(1. Postal Scientific Research and Planning Institute Limited, Beijing 100096, China;
2. Postal Research Center, China Post Group Co., Ltd., Beijing 100096, China)

ABSTRACT: The work aims to design a recyclable zipper mail bag with quality and strength meeting the need of use to replace the disposable mail bag and realize the concept of green development. The structure of the recyclable zipper mail bag was designed. Based on finite element analysis, the real physical system of zipper mail bag in practical application was simulated. The stress, strain and deformation of the zipper mail bag under three influencing factors such as material, fixing method of clamp and load were analyzed. Then, the simulation results were compared to determine and verify the material of recyclable zipper mail bag. In view of different materials, polyester resin (PET) had a smaller deformation, followed by high-density polyethylene (HDPE), while polypropylene (PP) had a larger deformation. In different fixing methods, when two short sides of the bag mouth were fixed by clamps, the stress of the bag mouth was more concentrated, the displacement was the maximum and the strain was larger. However, when the four sides of bag mouth were fixed by clamps, deformation and stress were both less. Under different loads, the load and the changes of stress, displacement and strain were positively correlated, and the positions where the maximum stress, displacement, and strain appeared were relatively stable. With the help of finite element analysis, the stress in practical application of zipper mail bag is simulated, and the mechanical properties of recyclable zipper mail bag under different materials, fixing methods of clamp and loads are analyzed, which saves manpower and material resources and provides a basis for practical ap-

收稿日期: 2021-10-24

作者简介: 董迪(1993—),女,硕士,工程师,主要研究方向为农产品包装研发、包装标准研究。

plication. At the same time, the feasibility of polyester resin (PET) as recyclable zipper mail bag is proved, which lays a foundation for the production of green, environmentally friendly, degradable and recyclable zipper mail bag, and has important significance for plastic limiting and green development.

KEY WORDS: recyclable zipper mail bag; finite element analysis; stress; strain; simulation

有限元分析^[1]具有方便、实用、有效^[2]等特点, 被逐渐应用到力学研究领域^[3]。有限元分析最初应用在航空器的结构强度计算上^[4-5], 随着计算机技术的快速发展和普及^[6], 有限元分析迅速从结构工程强度分析计算扩展到几乎所有科学技术领域^[7-8], 是一种丰富多彩、应用广泛、实用高效的数值分析方法^[9-10], 因此, 本研究借助有限元分析方法分析邮袋力学性能。

普通邮袋作为邮件容器的一种, 主要用于邮件分拣、封发、运输, 由于邮件大小不一, 邮袋具有多种型号, 邮袋按用途分为普通邮袋、特快专递邮袋、国际邮件邮袋、航空邮件邮袋等, 邮袋按材质分为棉麻、涤棉、尼龙、涤纶、聚乙烯 (PE)、高密度聚乙烯 (HDPE)、聚丙烯 (PP) 等^[11-12]。

综合考虑, 棉麻、涤棉邮袋价格昂贵, 难维护。尼龙邮袋克重大, 性能不稳定^[13]。涤纶邮袋易带静电, 会随着纹路破裂, 破裂不易缝补。聚乙烯 (PE)、高密度聚乙烯 (HDPE)、聚丙烯 (PP) 邮袋属塑料材质, 价格低, 力学性能较佳^[15], 但易老化, 部分材料不降解, 污染环境, 造成白色塑料污染。随着“限塑令”、绿色环保要求陆续发布, 可重复利用的环保包装材料逐步替代一次性塑料包装, 推动可降解、可循环邮袋发展。

研究基于有限元分析 3 种负载下涤纶树脂 (PET)、聚乙烯 (PE)、高密度聚乙烯 (HDPE)、聚丙烯 (PP) 4 种材质拉链邮袋, 不同夹具固定方式下应力、应变、变形情况, 确定拉链邮袋最佳力学性能

并验证, 同时探索涤纶树脂 (PET) 拉链邮袋使用特点, 为绿色、环保、可循环拉链邮袋研究提供依据。

1 拉链邮袋结构

可循环拉链邮袋分为袋身和袋底 2 部分, 袋身外尺寸为 800 mm×200 mm×1000 mm, 袋底外尺寸为 800 mm×200 mm×200 mm, 袋身与袋底同材料, 袋身比袋底薄, 袋身与袋底采用双侧边内部双折边缝制连接, 袋口缝制防爆拉链。

2 有限元仿真模拟

研究基于有限元分析, 对真实物理系统进行仿真, 计算物体结构强度。

2.1 建模

借助有限元分析软件 Solidworks 构建可循环拉链邮袋模型, 根据试验测定, 将张力强度、压缩强度、弹性模量、抗剪模量、泊松比等材料属性数值分别赋予不同材质的拉链邮袋模型, 简化袋口拉链结构, 将袋底柔性边角简化, 袋身与袋底连接设置为柔性连接。

拉链邮袋模型夹具固定方式为袋口四边夹具固定、袋口两长边夹具固定、袋口两短边夹具固定 3 种, 负载施加方向垂直于袋底。夹具固定方式和负载施加情况见图 1。

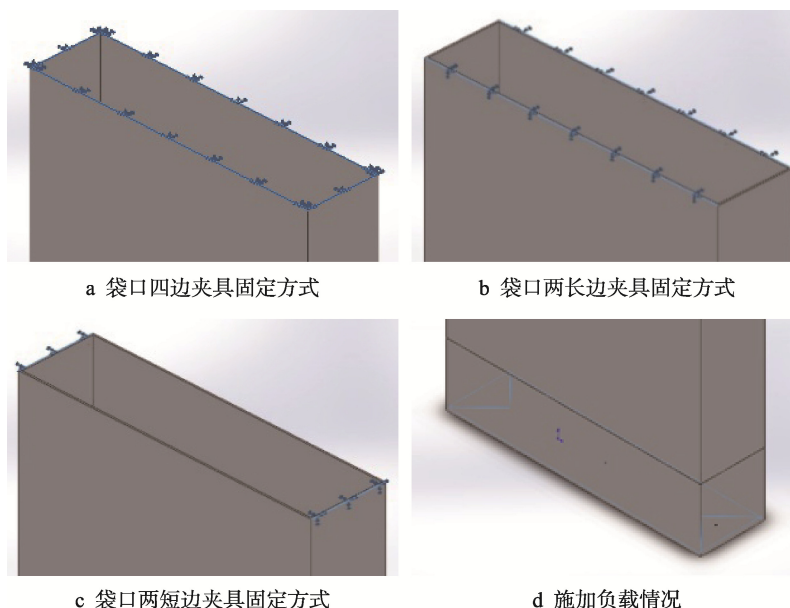


图 1 夹具固定方式和负载施加情况

Fig.1 Fixing method of clamp and applied load

2.2 网格划分

有限元网格划分直接影响数值计算结果精确性,根据拉链邮袋实际应用场合采用适合的数值积分求解方式,其中,网格划分节点 16 227 个,单元 8 095 个,单元大小 41.775 7 mm,单元最大高宽比为 38.543。网格划分示意图 2。

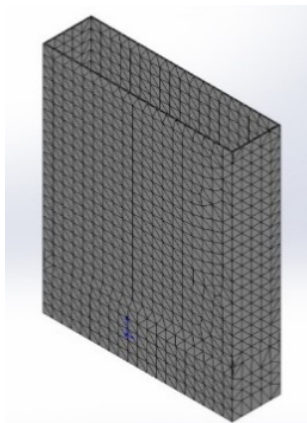


图 2 网格划分示意
Fig.2 Schematic diagram of meshing

2.3 仿真分析

研究涤纶树脂 (PET)、聚乙烯 (PE)、高密度聚乙烯 (HDPE)、聚丙烯 (PP) 4 种材质、夹具固定方式、负载 3 个变量对拉链邮袋仿真结果的影响。

分析材质对仿真结果的影响,材质 (PET、PE、HDPE、PP) 不同,负载为 100 N,夹具固定方式为袋口四边夹具固定。

分析夹具固定方式对仿真结果的影响,夹具固定方式 (袋口四边夹具固定、袋口两长边夹具固定、袋口两短边夹具固定) 不同,负载为 100 N,材质为涤纶树脂 (PET)。

分析负载对仿真结果的影响,负载 (100、200、500 N) 不同,材质为涤纶树脂 (PET),夹具固定方式为袋口四边夹具固定。

2.4 试验验证

选用涤纶树脂 (PET)、聚乙烯 (PE)、高密度聚

乙烯 (HDPE)、聚丙烯 (PP) 4 种材质拉链邮袋,根据模拟条件,试验测试拉链邮袋力学性能指标,验证仿真结果。

3 结果

不同材质、夹具固定方式、负载均影响拉链邮袋模型仿真结果。

3.1 材质对仿真结果的影响

选用涤纶树脂 (PET)、聚乙烯 (PE)、高密度聚乙烯 (HDPE)、聚丙烯 (PP) 4 种材质拉链邮袋仿真,负载为 100 N,夹具固定方式为袋口四边固定。仿真结果见表 1。

涤纶树脂 (PET) 拉链邮袋应力、位移、应变仿真分析图见图 3。

均布载荷施加在邮袋底部,邮袋各部分受力情况反映在应力、位移、应变变化云图中。

应力仿真分析图中受力云图集中在邮袋底部,受力云图中未出现破损点,在负载为 100 N 时,不易破损。

位移仿真分析图中位移云图集中在邮袋中部偏下位置,位移云图呈现椭圆状,破损点呈现在椭圆状中心,位移变化较大,在负载为 100 N 时,易破损。

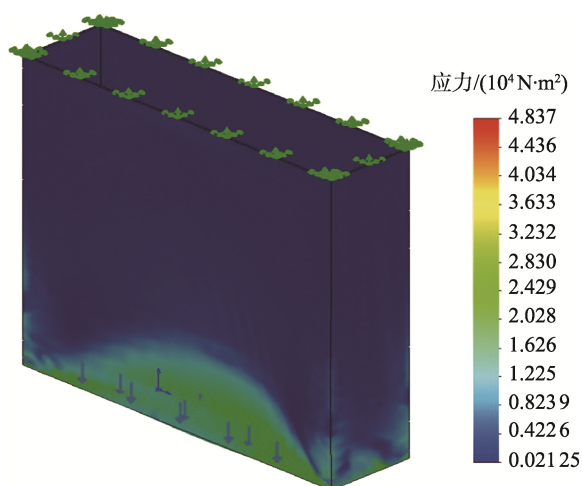
应变仿真分析图中应变云图集中在邮袋底部,应变云图中未出现破损点,在负载为 100 N 时,不易破损。因施加均布载荷,底面受力均匀,邮袋的较大侧面易破损。

比较 4 种材质拉链邮袋的应力、位移、应变结果如下。

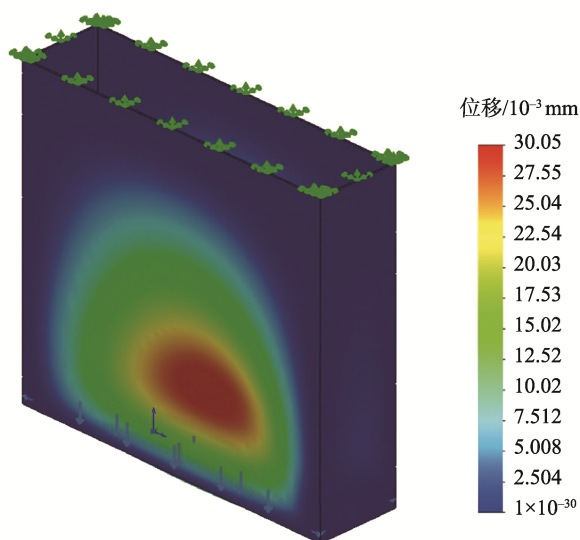
- 1) 最小应力从大到小排序为涤纶树脂 (PET)、聚丙烯 (PP)、高密度聚乙烯 (HDPE)、聚乙烯 (PE)。
- 2) 最大应力从大到小排序为涤纶树脂 (PET)、高密度聚乙烯 (HDPE)、聚丙烯 (PP)、聚乙烯 (PE)。
- 3) 最小位移均为 0。
- 4) 最大位移从大到小排序为聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、高密度聚乙烯 (HDPE)、涤纶树脂 (PET)。
- 5) 最小应变从大到小排序为聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、高密度聚乙烯 (HDPE)、涤纶树脂 (PET)。

表 1 4 种材质拉链邮袋仿真结果
Tab.1 Simulation results of zipper mail bags in 4 materials

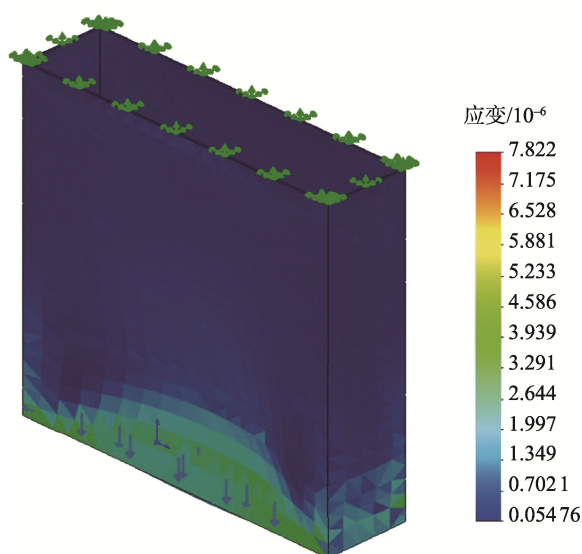
材质	最小应力/($10^2 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$)	最大应力/($10^4 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$)	最小位移/mm	最大位移/mm	最小应变/ 10^{-8}	最大应变/ 10^{-6}
PET	2.125	4.837	0	0.030 05	5.476	7.822
PP	1.980	4.653	0	0.092 92	20.03	25.94
PE	1.573	4.423	0	0.451 5	124.8	133.1
HDPE	1.978	4.654	0	0.077 84	16.74	21.72



a PET 拉链邮袋应力分析结果



b PET 拉链邮袋位移分析结果



c PET 拉链邮袋应变分析结果

图 3 PET 拉链邮袋仿真结果
Fig.3 Simulation results of PET zipper mail bag

6) 最大应变从大到小排序为聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、高密度聚乙烯 (HDPE)、涤纶树脂 (PET)。

仿真结果表明, 4 种材质拉链邮袋最大应力、最大位移、最大应变均在安全范围内, 涤纶树脂 (PET) 同等负载、夹具固定方式条件下, 应力较大的情况下, 最大位移与最大应变较小, 变形量较小。高密度聚乙烯 (HDPE) 的使用情况仅次于涤纶树脂 (PET)。聚丙烯 (PP) 同等负载、夹具固定方式条件下, 应力是 4 种材料中最大应力最小的, 最大位移与最大应变是最大的, 在变形量较大。

3.2 夹具固定方式对仿真结果的影响

选用袋口四边夹具固定、袋口两长边夹具固定、袋口两短边夹具固定 3 种夹具固定方式, 负载为 100 N, 涤纶树脂 (PET) 材质拉链邮袋。仿真结果见表 2。

涤纶树脂 (PET) 拉链邮袋袋口两短边夹具固定条件下应力、位移、应变仿真分析图见图 4。

均布载荷施加在邮袋底部, 邮袋各部分受力情况反映在应力、位移、应变变化云图。

应力仿真分析图中受力云图集中在邮袋底部, 受力云图中未出现破损点, 在负载为 100 N 时, 不易破损。

位移仿真分析图中位移云图集中在邮袋较大面, 位移云图呈现椭圆状, 破损点呈现在椭圆状中部偏下位置, 位移变化较大, 在负载为 100 N 时, 易破损。

应变仿真分析图中应变云图集中在邮袋底部, 应变云图中未出现破损点, 在负载为 100 N 时, 不易破损。因施加均布载荷, 底面受力均匀, 邮袋的较大侧面易破损。

比较涤纶树脂 (PET) 拉链邮袋袋口四边夹具固定、袋口两长边夹具固定、袋口两短边夹具固定方式的应力、位移、应变结果: 最小应力从大到小排序为四边、两长边、两短边; 最大应力从大到小排序为两短边、四边、两长边; 最小位移均为 0; 最大位移从大到小排序为两短边、四边、两长边; 最小应变从大到小排序为四边、两长边、两短边; 最大应变从大到小排序为两短边、四边、两长边。

仿真结果表明, 同等材料、负载下, 袋口两短边夹具固定, 袋口应力较集中, 最大位移、应变较四边固定与两长边固定情况严重, 最大位移、最大应变较大。袋口两长边夹具固定, 袋口也有出现应变情况, 有一定的变形。袋口四边夹具固定袋口变形最小, 袋口处应力最小。

3.3 负载对仿真结果的影响

选用 100、200、500 N 负载作用于涤纶树脂 (PET) 拉链邮袋, 袋口四边夹具固定。仿真结果见表 3。

负载为 500 N 条件下, 涤纶树脂 (PET) 拉链邮袋应力、位移、应变仿真分析图见图 5。

表 2 涤纶树脂（PET）拉链邮袋不同固定方式下仿真结果
Tab.2 Simulation results of PET zipper mail bag with different fixing methods

夹具固定 方式	最小应力/ $(10^2 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2})$	最大应力/ $(10^4 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2})$	最小位移/mm	最大位移/ μm	最小应变/ 10^{-8}	最大应变/ 10^{-6}
袋口四边	2.125	4.837	0	30.05	5.476	7.822
袋口两长边	1.294	4.834	0	29.93	3.446	7.818
袋口两短边	0.634 2	4.865	0	31.21	2.657	7.858

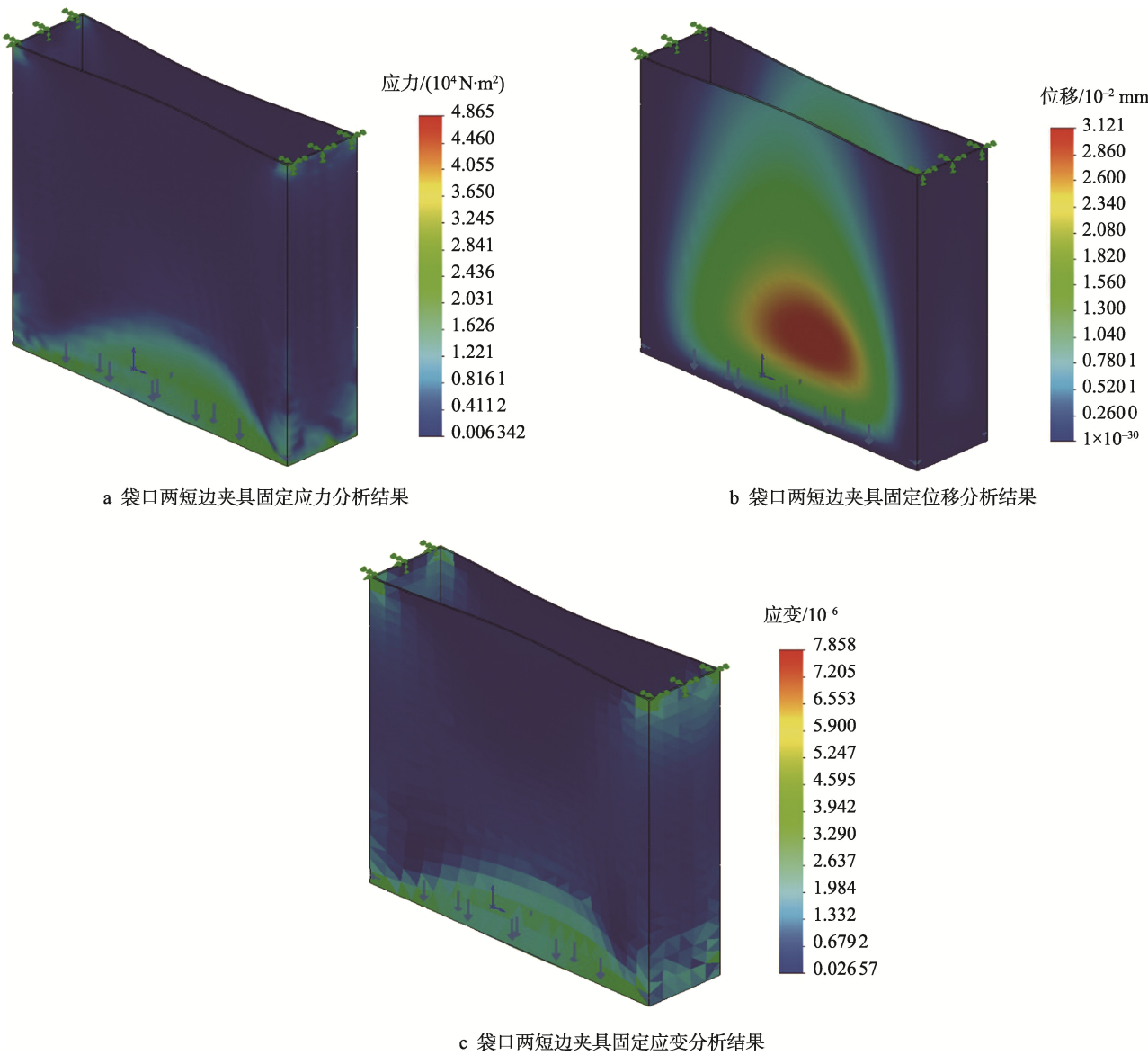


图 4 涤纶树脂（PET）拉链邮袋袋口两短边夹具固定应力、位移、应变仿真结果
Fig.4 Simulation results of stress, displacement and strain of polyester resin (PET) zipper mail bag with 2 short sides fixed by clamps

表 3 涤纶树脂（PET）拉链邮袋不同负载下仿真结果
Tab.3 Simulation results of PET zipper mail bag under different loads

不同负载/N	最小应力/ $(10^2 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2})$	最大应力/ $(10^4 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2})$	最小位移/mm	最大位移/ μm	最小应变/ 10^{-8}	最大应变/ 10^{-6}
100	2.125	4.837	0	30.05	5.476	7.822
200	4.25	9.674	0	60.1	10.95	15.64
500	10.62	24.18	0	150.2	27.4	39.11

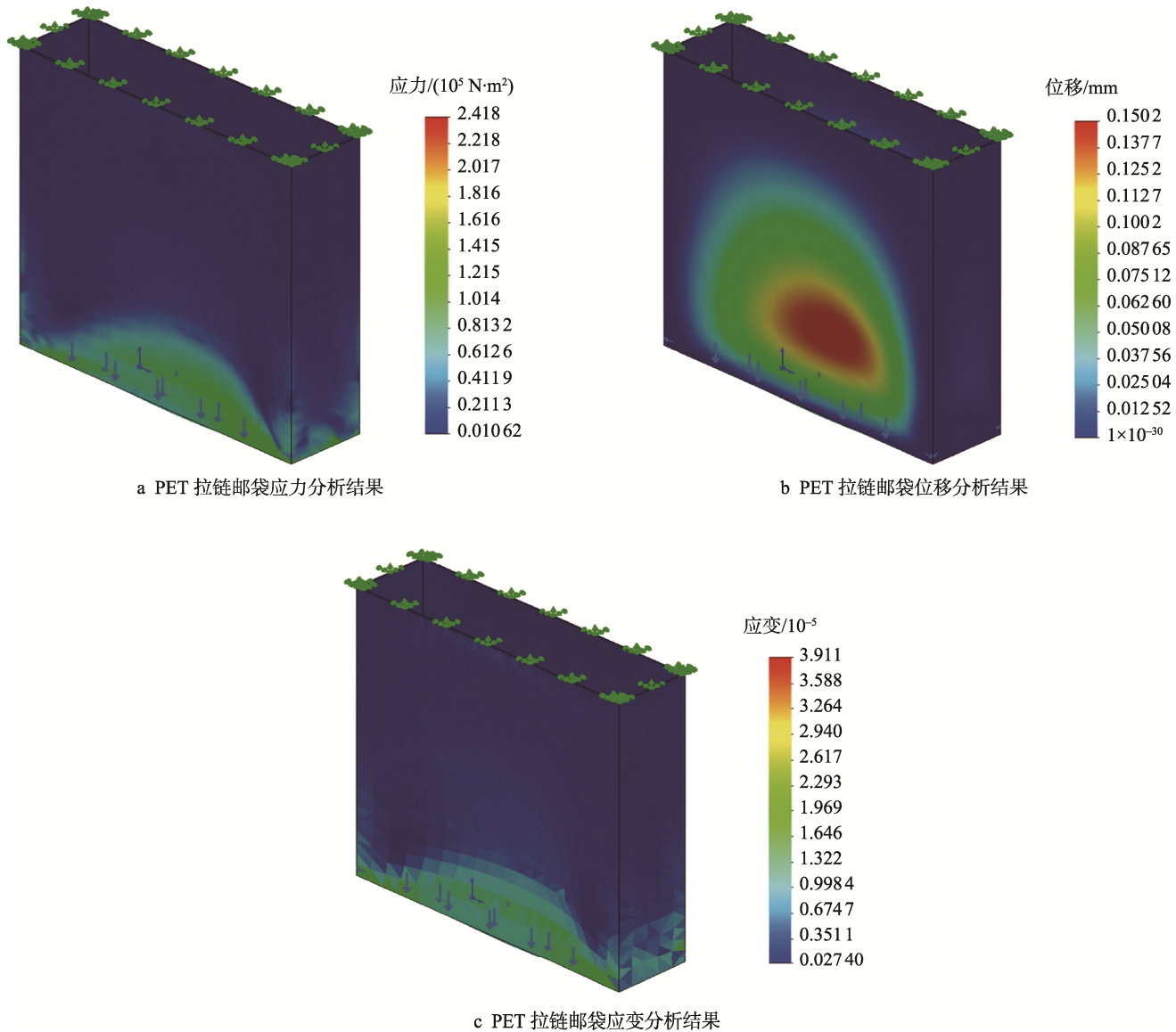


图 5 PET 拉链邮袋 500 N 负载下应力、位移、应变仿真结果

Fig.5 Simulation results of stress, displacement and strain of PET zipper mail bag under 500 N load

比较涤纶树脂 (PET) 拉链邮袋 100、200、500 N 负载条件下, 应力、位移、应变得出, 负载与应力、位移、应变三者变化呈正相关变化趋势, 随着负载的增加, 应力、位移、应变也随之增加, 出现最大应力、最大位移、最大应变的位置较为稳定。

4 结语

基于有限元分析研究不同材质拉链邮袋, 在不同夹具固定方式、负载条件下力学性能。材质的影响, 涤纶树脂 (PET) 应力较大的情况下, 最大位移与最大应变较小, 在实际生产情况下, 变形量较小。高密度聚乙烯 (HDPE) 次之, 聚丙烯 (PP) 变形量最大。夹具固定方式的影响, 袋口两短边夹具固定, 袋口应力较集中, 最大位移、应变较四边固定与两长边固定情况严重, 最大位移、最大应变较大。袋口两长边夹

具固定次之。袋口四边夹具固定袋口变形小。负载的影响, 拉链邮袋的力学性能与负载呈正相关。本研究研究涤纶树脂 (PET) 作为可循环拉链邮袋的可行性, 涤纶树脂 (PET) 拉链邮袋力学性能较佳, 可循环降解, 代替一次性邮袋, 为绿色、环保、可降解、可循环拉链邮袋的制作奠定基础, 不仅降低白色塑料污染, 提高了材料使用率, 更加绿色环保, 对限塑、绿色发展有着重要的意义。

参考文献:

- [1] 戴张祥, 郑吉明, 查长礼, 等. 基于 ABAQUS 的空压机曲轴带状切屑有限元仿真分析[J]. 科技风, 2019(33): 142, 148.
- DAI Zhang-xiang, ZHENG Ji-ming, ZHA Chang-li, et

- al. Finite Element Simulation Analysis of Banded Chip in Air Compressor Crankshaft Based on ABAQUS[J]. Technology Wind, 2019(33): 142, 148.
- [2] 夏鸿洲, 王志刚, 马竞男. 某涡旋膨胀机曲轴的静态分析及优化[J]. 科技风, 2019(30): 143-144.
- XIA Hong-zhou, WANG Zhi-gang, MA Jing-nan. Static Analysis and Optimization of Crankshaft of a Vortex Expander[J]. 科技风, 2019(30): 143-144.
- [3] 杨佳敏, 李瑞雪. 基于 ANSYS 的汽油机曲轴结构分析[J]. 农机使用与维修, 2019(10): 14-17.
- YANG Jia-min, LI Rui-xue. Structure Analysis of Gasoline Engine Crankshaft Based on ANSYS[J]. Agricultural Mechanization Using & Maintenance, 2019(10): 14-17.
- [4] 陈佐添, 顾含, 王孝霖, 等. 基于应力云图和有限元的柴油机曲轴疲劳强度分析[J]. 舰船科学技术, 2019, 41(19): 144-147.
- CHEN Zuo-tian, GU Han, WANG Xiao-lin, et al. Based on the Stress Cloud Map and Ansys Fatigue Strength Analysis Diesel Engine[J]. Ship Science and Technology, 2019, 41(19): 144-147.
- [5] 魏武国, 冯浩阳. 水平对置四缸航空活塞发动机曲轴模态分析[J]. 科技创新导报, 2019, 16(27): 9-11.
- WEI Wu-guo, FENG Hao-yang. Modal Analysis of Crankshaft of Horizontally Opposed Four-Cylinder Aero-Piston Engine[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2019, 16(27): 9-11.
- [6] IYAPPAN P, GANGULI R. Multi-Fidelity Analysis and Uncertainty Quantification of Beam Vibration Using Correction Response Surfaces[J]. International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics, 2020, 21(1): 26-42.
- [7] TARR M E, ANDERSON-MONTOYA B L, VILASAGAR S, et al. Validation of a Simulation Model for Robotic Sacrocolpopexy[J]. Female Pelvic Medicine & Reconstructive Surgery, 2022, 28(1): 14-19.
- [8] JURAJ R, CHRISTIAN G, PHILIPP W, et al. Validation of a Coupled 3D CFD Simulation Model for an Oxy-Fuel Cross-Fired Glass Melting Furnace with Electric Boosting[J]. Applied Thermal Engineering, 2021, 195: 55-56.
- [9] LIU G, HAO X, XU H. The Design and Simulated Analysis of Sheath Flow System for the Flow Cytometry[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 703:254-257.
- [10] 郜亚男. 矿井掘进机自主定位仿真模拟及应用研究[J]. 煤矿现代化, 2020(5): 120-122.
- GAO Ya-nan. Research on Simulation and Application of Mine Roadheader Autonomous Positioning[J]. Coal Mine Modernization, 2020(5): 120-122.
- [11] 王峰. PET 材料实际强度与理论强度分析方法[J]. 中国新技术新产品, 2019(23): 4-6.
- WANG Feng. Analysis Method of Actual Strength and Theoretical Strength of PET Materials[J]. New Technology & New Products of China, 2019(23): 4-6.
- [12] 卢勇. PET 塑料的改性及应用探析[J]. 中国新技术新产品, 2020(1): 82-83.
- LU Yong. Modification and Application of PET[J]. New Technology & New Products of China, 2020(1): 82-83.
- [13] 于杨曜, 林路索. 我国食品接触塑料包装制品再生利用的法律规制: 以 PET 饮料瓶为例[J]. 食品科学, 2019, 40(19): 370-377.
- YU Yang-yao, LIN Lu-suo. Legal Regulation of Recycling of Food Contact Plastic Packaging Materials in China: A Case Study on Polyethylene Terephthalate(PET) Beverage Bottles[J]. Food Science, 2019, 40(19): 370-377.
- [14] 程凯旋, 杨加美, 丁珮珊, 等. 高密度聚乙烯垫片的非线性压缩-回弹性能测试[J]. 武汉工程大学学报, 2021, 43(4): 468-472.
- CHENG Kai-xuan, YANG Jia-mei, DING Pei-shan, et al. Nonlinear Compression-Resilience Performance Test of HDPE Gaskets[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2021, 43(4): 468-472.
- [15] 武金朋, 董迪, 赵真真, 等. 循环设计理念下可循环拉链邮袋的研究[J]. 绿色包装, 2021(4): 55-58.
- WU Jin-peng, DONG Di, ZHAO Zhen-zhen, et al. Research on the Recyclable Zipper Mail Bag under the Concept of Recycling Design[J]. Green Packaging, 2021(4): 55-58.

责任编辑: 曾钰婷