

HDPE 瓶顶部负载仿真分析

吴子鸣¹, 吴映桐¹, 孙一鸣¹, 张立军¹, 王立军^{1,2}, 宋海燕^{1,2}

(1.天津科技大学 轻工科学与工程学院, 天津 300457;

2.中国轻工业食品包装材料与技术重点实验室, 天津 300457)

摘要: **目的** 针对一款吹塑成型的牛奶包装 HDPE 瓶易瘪瓶的问题, 研究瓶体不同部位的厚度比对 HDPE 瓶顶部负载的影响, 并轻量化设计 HDPE 瓶。**方法** 通过 3D 扫描获得 HDPE 瓶的 3D 实体模型, 测量瓶体厚度, 并在 ABAQUS 中构建不等壁厚的 HDPE 瓶壳体有限元模型, 通过静压试验验证有限元模型的准确性。仿真分析厚度比对整瓶顶部负载能力的影响, 并拓扑优化 HDPE 瓶材料分布。**结果** 顶部负载时, 有限元模型仿真分析和实验得到的临界载荷和临界位移误差分别为 2.49% 和 5.11%; 结合厚度比优化与轻量化分析可知, HDPE 瓶单瓶材料用量减少了 12 g。**结论** 考虑了瓶体实际厚度的 HDPE 瓶有限元模型具有较高的准确度。在设计 HDPE 瓶时, 应关注瓶体各部位的厚度组成, 以获得更好的瓶体力学性能。

关键词: HDPE 瓶; 顶部负载; 模型验证; ABAQUS

中图分类号: TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)11-0235-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.11.027

Simulation Analysis of Top Load of HDPE Bottles

WU Zi-ming¹, WU Ying-tong¹, SUN Yi-ming¹, ZHANG Li-jun¹, WANG Li-jun^{1,2}, SONG Hai-yan^{1,2}

(1. School of Light Industry Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China; 2. Key Laboratory of Food Packaging Materials and Technology of China Light Industry, Tianjin 300457, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effect of thickness ratio of different parts of the bottle on the top load of HDPE bottle aiming at the problem that a blow-molded milk HDPE bottle is easy to collapse, and carry out lightweight design to HDPE bottle. The physical 3D model of HDPE bottle was obtained by 3D scanning and the thickness of the bottle was measured. The finite element model of HDPE bottle shell with different wall thickness was built in ABAQUS, and the accuracy of the finite element model was verified by static pressure test. The effect of thickness ratio on the top load capacity of the whole bottle was simulated and analyzed, and the distribution of HDPE bottle materials was topologically optimized. When the top was loaded, the errors of the critical load and critical displacement obtained by finite element model simulation analysis and experiment were 2.49% and 5.11%, respectively. Combined with the optimization of thickness ratio and lightweight analysis, the amount of HDPE bottle material was reduced by 12 g. The finite element model of HDPE bottle considering the actual thickness of the bottle has high accuracy. For design of HDPE bottle, attention should be paid to the thickness composition of each part of the bottle, so as to obtain better mechanical properties.

KEY WORDS: HDPE bottle; top load; model validation; ABAQUS

收稿日期: 2022-11-15

基金项目: 天津市自然科学基金 (21YDTPJC00480); 天津市科技计划项目 (20YDTPJC00830)

作者简介: 吴子鸣 (1997—), 男, 硕士生, 主攻运输包装。

通信作者: 宋海燕 (1977—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为物流包装材料、技术与设备。

高密度聚乙烯 (High Density Polyethylene, HDPE) 是目前使用量较大的聚合物材料之一。HDPE 无毒、无味, 具有较高的耐酸、碱腐蚀性和良好的力学性能, 通常用于制造牛奶、药品或油的容器。中国 2021 年生产了 2 842.98 万 t 液态奶制品, 产量比上年增长 9.7%^[1]。牛奶产量的增长将带来更大的 HDPE 瓶使用量, 这些 HDPE 瓶在运输和交付过程中会受到较大的外界载荷, 因此, 它们需要强大的力学性能。然而, 为了提高 HDPE 瓶的可回收性, HDPE 瓶也应当有低质量、易粉碎的特点。因此, 在设计 HDPE 瓶时, 既需要较高的强度和刚度, 也要综合考虑瓶体的厚度, 避免材料浪费和环境污染。

实际生产过程中, 改变吹瓶工艺耗时且成本高, 实验研究不适用于塑料瓶的改进。因此, 通常选择数值模拟的方法来改进塑料瓶, 而有限元建模 (Finite Element Modeling, FEM) 更是首选。Huang 等^[2]针对 2.8 L 的 HDPE 牛奶瓶, 设置瓶身和瓶底两部分厚度并进行顶部负载仿真实验, 轻质设计后质量减少了 21.4%。Keawjaroen 等^[3]利用卷积神经网络设计出理想的 HDPE 瓶, 并对设计出的 HDPE 瓶进行顶部负载测试与仿真实验。目前, 针对 HDPE 瓶的仿真研究较少, 大部分的工作针对了 PET 瓶的跌落与静压。李强等^[4]对考虑了流固耦合作用的 PET 瓶跌落过程进行了数值模拟, 并研究了储液量、跌落角度对冲击应力的影响。Hu 等^[5]根据顶部负载的应力云图优化 PET 瓶的结构设计, 降低了 PET 瓶的质量。Masood 等^[6]阐述了一种用 PET 材料替代 PC 材料制作饮水桶的替代方案, 并对 PET 饮水桶进行了建模和数值仿真。Demirel 等^[7]研究了瓶底几何形状对 PET 力学性能的影响, 并通过数值模拟的方法计算了改底后 PET 瓶的应力。宋卫生等^[8]详述了爪瓣式瓶底结构对碳酸饮料瓶力学性能的影响, 并使用有限元计算了饮料瓶充气破裂过程中的最大应力。实际应用过程中, 塑料瓶的厚度远小于瓶的表面积, 计算量较少的壳体模型是瓶体有限元仿真的首选。研究吹塑成型的塑料瓶时, 大部分的数值模拟工作针对 PET 瓶瓶坯的尺寸设计, 不等壁厚的吹塑瓶有限元模型被少部分学者用于进一步的数值验证^[9]。胡青春等^[10]、刘良先等^[11]和 Woo 等^[12]通过数值模拟的方法改进瓶坯的结构, 得到改善了材料分布和增强了力学性能的 PET 瓶。Siripath 等^[13]仿真分析了吹塑的温度和时间对 HDPE 瓶壁厚的影响, 最终壁厚的误差为 0.196 22%。Nguyen 等^[14]描述了吹塑过程中 PET 的各向异性对 PET 力学性能的影响, 并根据 PET 瓶的顶部负载仿真实验验证了数据模拟的结果。等壁厚的壳体有限元模型被大量应用于塑料瓶瓶体的力学仿真实验, 这与实际的吹塑瓶壁厚分布存在较大的差异。因此, 本文通过建立不等壁厚的 HDPE 瓶壳体有限元模型, 减少传统瓶体建模方式带来的计算结果的误差, 并仿真分析 HDPE 瓶瓶体的厚度组成对整瓶顶部负载能力的影响。

1 有限元模型

1.1 HDPE 瓶有限元模型的建立

重力作用下, 盛装过牛奶的 HDPE 瓶会发生弯曲变形, 使用迅恒手持三维扫描仪, 3D 扫描得到准确的 HDPE 瓶点云模型, 模型共包含 1 346 004 个小三角形面片。使用 Geomagic Studio 软件合并点云模型至 49 个曲面片, 并导出 HDPE 瓶的数字模型。通过 Solidworks 软件合并曲面片成 1 个面组, 最后导出 HDPE 瓶几何模型。HDPE 瓶满口容积为 2 L, 实际灌装牛奶 1.89 L, 其主要尺寸如图 1 所示。

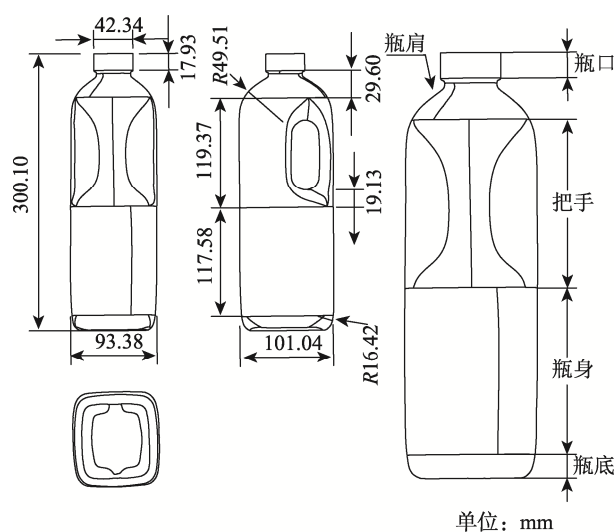


图 1 HDPE 瓶主要尺寸
Fig.1 Main dimensions of HDPE bottle

测量 HDPE 瓶的剖面厚度得到瓶体各部分的平均壁厚。HDPE 瓶瓶口及螺纹部分平均厚度为 1.50 mm, 并采用圆柱壳替代原有瓶口结构。瓶肩部分平均厚度 $d_a=1.54$ mm、把手部分平均厚度 $d_b=1.10$ mm 以及瓶身部分的平均厚度 $d_c=1.05$ mm。整个瓶底部分划分为 3 个区域: 瓶底的触地面区域、瓶身部分至瓶底触地面的弧形过渡区域和瓶底的底面区域, 其平均厚度分别为 1.50、1.70 和 1.90 mm。

采用有限元软件 ABAQUS 进行数值仿真。参考塑料拉伸性能的测定标准^[15], 在 HDPE 瓶的瓶体上切割 HDPE 片材, 进行拉伸速率分别为 5、100 和 500 mm/min 的拉伸实验。拟合 HDPE 材料的弹性模量, 并将工程应力-应变曲线转为真实应力-应变曲线, 在 ABAQUS 中构建与应变率相关的 HDPE 材料模型。HDPE 本构模型如图 2 所示, 其密度为 913.85 kg/m³, 弹性模量为 559.415 MPa, 泊松比为 0.419^[2]。设计牛奶瓶时, 瓶盖的尺寸及螺纹拥有独立的设计标准, 瓶口的尺寸设计需要参考瓶盖的标准。有限元计算时, 瓶口的螺纹曲面微小复杂, 占用较多的计算量。因此, 使用柱形面替代原瓶口撑环及螺纹, 并且忽略瓶口螺纹对 HDPE 瓶力学性能的影响。

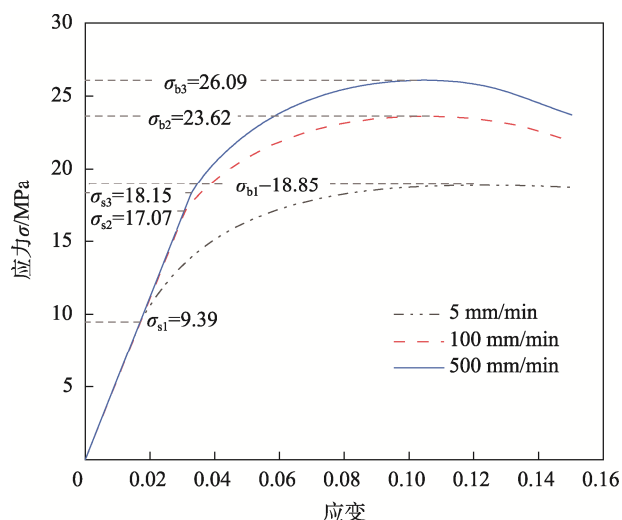


图 2 HDPE 本构模型
Fig.2 Constitutive model of HDPE

1.2 网格与边界条件

经网格无关化验证,对 HDPE 瓶有限元模型进行网格划分,网格单元类型主要为四节点壳单元 (S4R),在部分弧度较大的区域使用三角形单元 (S3R) 过渡,共有 12 669 个网格单元。HDPE 瓶顶部负载有限元模型如图 3 所示。上板等效为不可变形刚体,使用八节点六面体缩减积分单元 (C3D8R) 划分网格;下板设定为离散刚性壳体。整个模型包括 18 986 个单元和 20 894 个节点。

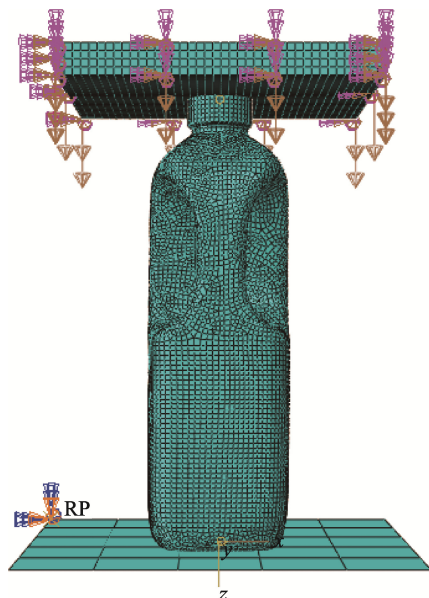


图 3 顶部负载有限元模型
Fig.3 Top load finite element model

采用显式动力学计算顶部负载有限元模型。使用通用接触定义模型间的相互接触行为,设定摩擦因数为 0.2。约束下板所有方向的自由度,使上板以 4 mm/s 的速度向下移动,并输出上板下表面的反作用力。

1.3 有限元模型的验证

计算有限元模型仿真分析与实验的误差,验证顶部负载有限元模型的准确性。实验装置由试验机 (3369 型电子万能试验机,美国 instron 公司)、上压板、下板、HDPE 瓶和计算机系统等组成。图 4 比较了 HDPE 瓶顶部负载实验与有限元分析的载荷-位移曲线。结果表明,有限元分析和实验具有较好的一致性。临界载荷 F_{max} 的有限元分析数值与实验数值分别为 635.22 N 与 651.45 N,对应的位移分别为 7.04 mm 与 7.42 mm,2 组结果的误差仅分别为 2.49% 和 5.11%。

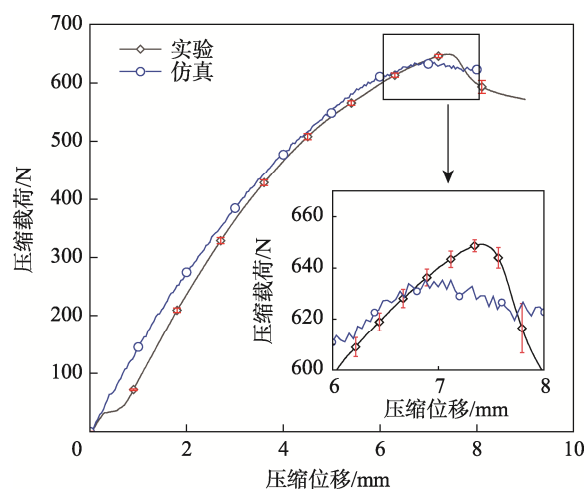


图 4 HDPE 瓶顶部负载实验与仿真结果
Fig.4 Experiment and simulation results for top load of HDPE bottle

临界载荷时,有限元模型和实验的 HDPE 瓶形变如图 5 所示。有限元模型和实验的形变都表现为瓶身上部的凹折,2 组结果在实验现象上同样表现出较好的一致性。数值和现象的一致性证明了 HDPE 瓶有限元模型的准确性。

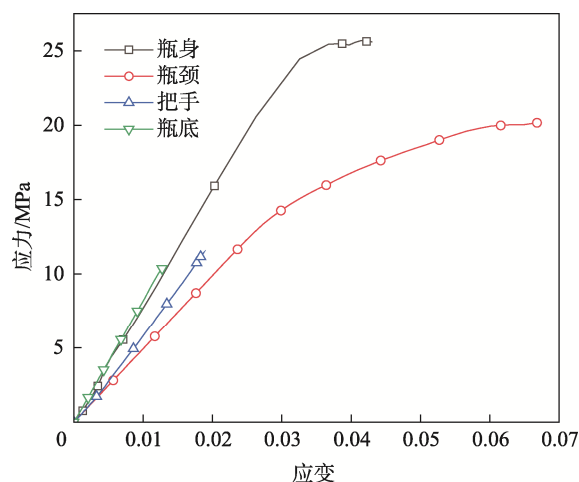


图 5 HDPE 瓶顶部负载实验与有限元分析形变结果
Fig.5 Experiment and simulation deformation results for top load of HDPE bottle

2 厚度对 HDPE 瓶力学性能的影响

2.1 结构强度分析

瓶底的3个区域(瓶身连接面、触地面、底面)视为一个整体。顶部负载过程中,HDPE瓶各个部分的应力集中处的应力变化,可以表明HDPE瓶各部分对瓶体顶部负载能力的影响。图6为HDPE瓶各部分应力集中处的应力-应变曲线。瓶肩与瓶底部分的厚度相近,但是瓶肩部分曲率较大,因此,瓶肩部分的刚度远小于瓶底部分;静压过程中,过大的应力导致瓶身部分的崩溃,瓶肩部分发生塑性形变几近崩溃,把手和瓶底部分始终处于弹性阶段。图7展示了HDPE瓶静压过程中的应力变化云图。来自上压板的

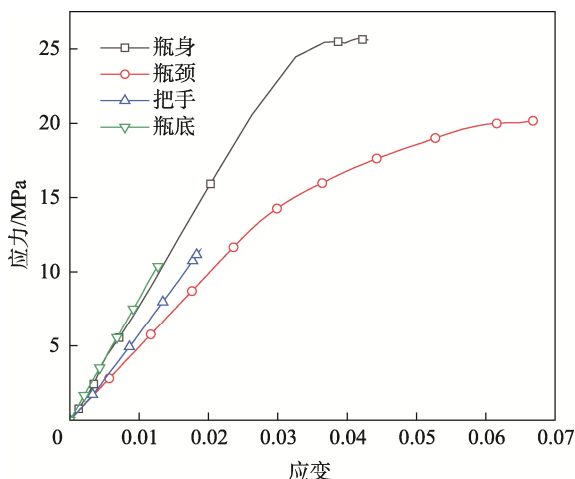


图6 HDPE瓶各部分应力集中处
应力-应变曲线

Fig.6 Stress-strain curve at the stress concentration of each part of the HDPE bottle

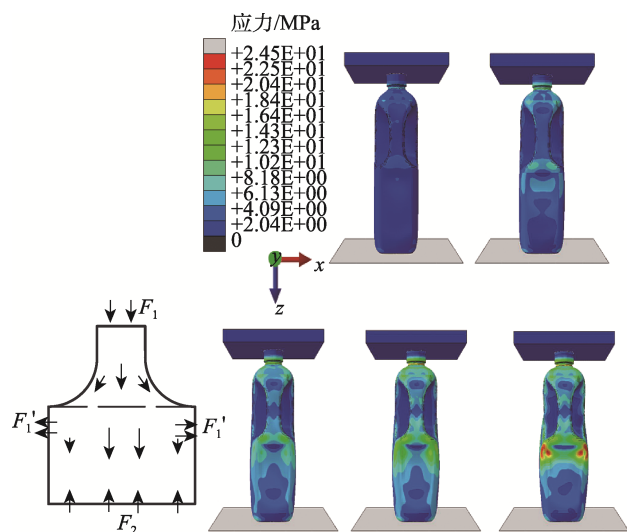


图7 HDPE瓶顶部负载应力变化云图
Fig.7 Cloud map of stress change on top load of HDPE bottle

压力 F_1 经过 HDPE 瓶把手传递至瓶身部分时向两边扩散,垂直方向的力与来自底板的反作用力 F_2 平衡,两侧分力 F_1' 作用于瓶身侧面,产生应力集中区域。因此,虽然瓶肩部分的刚度最小,但是在当前 HDPE 瓶厚度下,瓶身部分先于瓶肩部分崩溃。

2.2 顶部负载有限元分析

采用控制单一变量法研究 HDPE 瓶各部分厚度对瓶体临界载荷的影响。有限元分析时,控制 HDPE 瓶某一部分的厚度改变量在 0.2 mm 以内,其余部分厚度保持初始状态。不同厚度下的 HDPE 瓶顶部负载临界载荷如图8所示。单一部分的厚度增加时,顶部负载的临界载荷增大至一定数值后保持不变。这一规律表明,HDPE 瓶各个部分厚度的比值同样会影响瓶体顶部的负载能力。

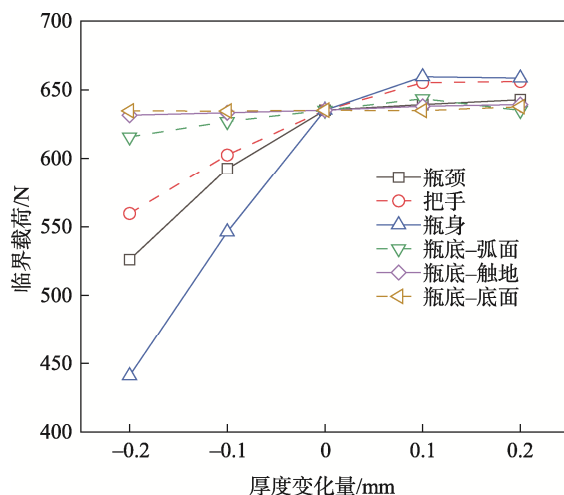


图8 不同厚度下的 HDPE 瓶顶部
负载临界载荷

Fig.8 Critical load on top of HDPE bottle at different thickness

定义瓶肩厚度 d_a 与瓶身厚度 d_c 的比值为厚度比 η_1 ,把手厚度 d_b 与瓶身厚度 d_c 的比值为厚度比 η_2 。参考 HDPE 瓶初始厚度,分别改变 d_a 和 d_c ,仿真分析 η_1 对 HDPE 瓶顶部负载的影响,结果如图9a所示。当 η_1 小于 1.42,仅改变瓶身厚度时,顶部负载临界载荷变化趋势表明,当前厚度比下的瓶身厚度对 HDPE 瓶的顶部负载能力无显著影响,HDPE 瓶顶压崩溃现象为瓶体颈部凹陷;当 η_1 大于 1.45 时,仅改变瓶肩厚度时,临界载荷停止增大,当前厚度比下的瓶肩厚度不再影响 HDPE 瓶的顶部负载能力,此时,HDPE 瓶顶压崩溃的象为瓶体瓶身凹折。HDPE 瓶某一部分的厚度变化不再改变顶部负载的临界载荷时,这一部分厚度过大以致 HDPE 材料浪费。因此,材料应用效率最佳时, η_1 的取值范围为 1.42~1.45,此时,HDPE 瓶顶压崩溃应力云图如图9b所示,现象为颈部凹陷和瓶身凹折。

合理的 η_1 范围内, 最佳的材料分配要求瓶肩与瓶身部分具有相同大小的临界载荷。分析临界载荷-厚度比曲线, 2 条曲线分别在 η_1 大于 1.42 和 η_1 小于 1.45 时表现出线性关系, 斜率 k_{1a} 和 k_{1c} 分别为瓶肩和瓶身厚度影响下的单位临界载荷改变量。经线性拟合得出, $k_{1c}=-553.58$ N、 $k_{1a}=631.86$ N。根据 k_{1a} 与 k_{1c} , HDPE 瓶瓶肩与瓶身部分的最佳厚度比 $\eta_1=1.43$ 。

$\eta_1=1.43$ 时, 参考 HDPE 瓶初始厚度, 分别改变 d_b 与 d_c , 仿真分析 η_2 对 HDPE 瓶顶部负载能力的影响。图 9c 展示了顶部负载临界载荷与 η_2 的关系曲线。 η_2 大于 0.73 时, 瓶身的厚度对 HDPE 瓶顶部负载能力产生显著影响; η_2 小于 1.01 时, 把手部分的厚度对瓶体顶部负载能力产生显著影响。拟合 2 条曲线的线性部分, 把手厚度影响下的单位临界载荷改变量

$k_{2b}=494.01$ N, 瓶身厚度影响下的单位临界载荷改变量 $k_{2c}=-1\,006.78$ N。据 k_{2b} 与 k_{2c} 可得, HDPE 瓶把手与瓶身部分的最佳厚度比 $\eta_2=0.92$ 。 $\eta_2=0.92$ 时的 HDPE 瓶顶压崩溃应力云图如图 9d 所示。

2.3 HDPE 瓶轻量分析

通过密度法对 HDPE 瓶进行轻量化分析。保持 HDPE 瓶的总质量不变, 瓶肩、把手和瓶身厚度处于最佳厚度比, 使用 ABAQUS 软件对 HDPE 瓶进行拓扑优化。轻量化分析过程中, 优化区域为把手和瓶身部分, 最小化材料体积作为目标函数, 结果如图 10 所示。实际生产过程中, 无法实现瓶体在较小的区域内产生多个详细定义的厚度值, 因此, 对拓扑优化结果进行改进设计, 设计图如图 11 所示。参考 GB/T 13508—2011^[16]可得, 白色的优化区域厚度 $d_i=0.5$ mm。

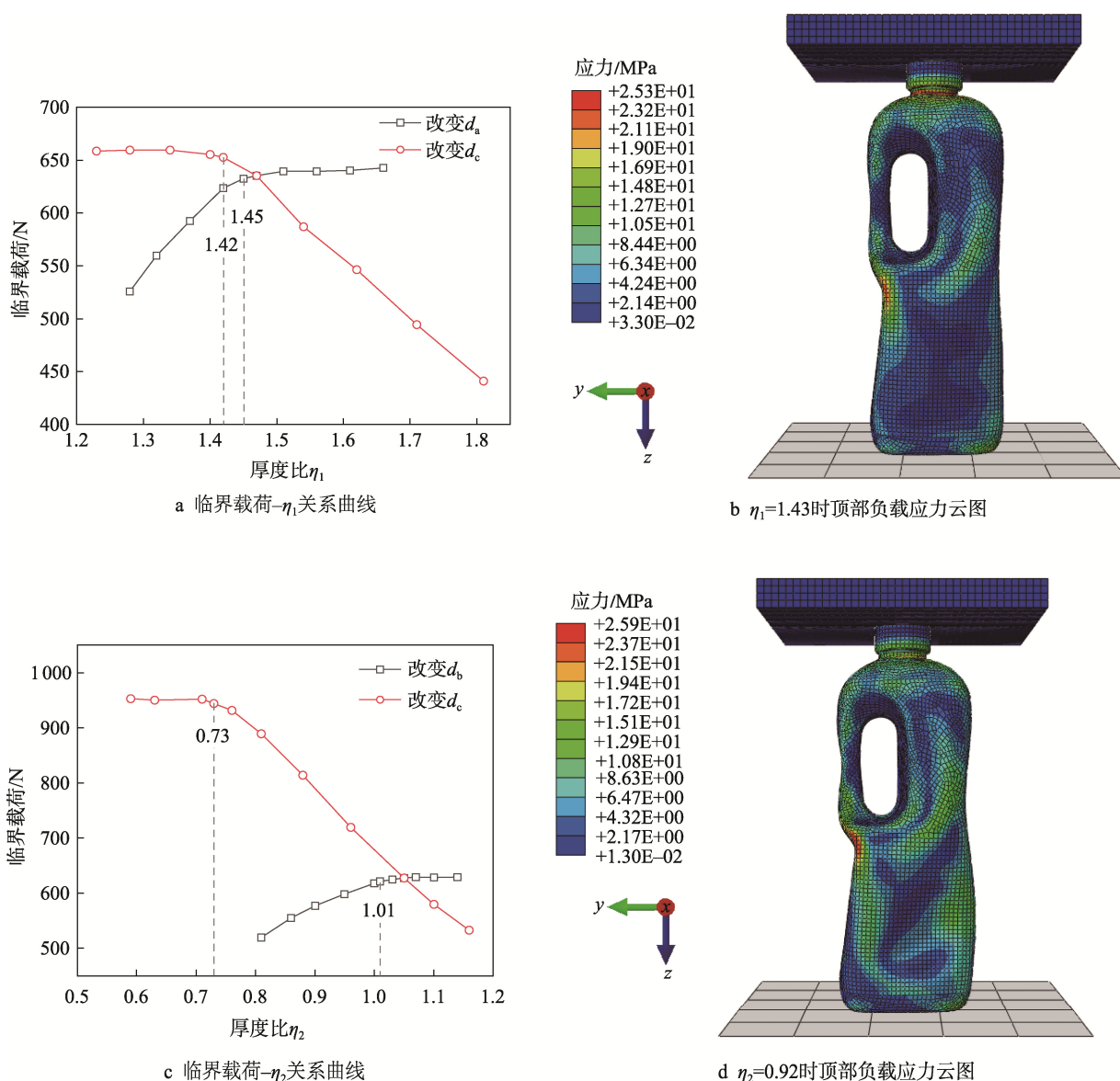


图9 临界载荷-厚度比关系曲线及仿真应力云图

Fig.9 Critical load-thickness ratio curve and cloud map of simulated stress

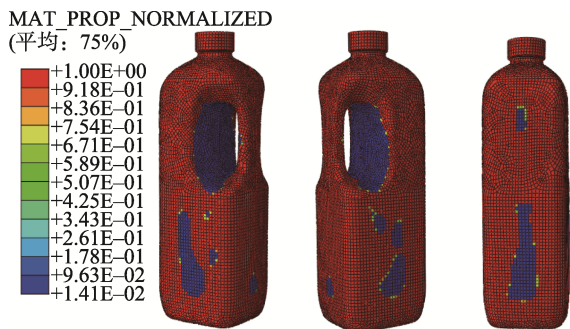


图10 拓扑优化得到的 HDPE 瓶材料体积分布
Fig.10 Material volume distribution of HDPE bottle obtained by topology optimization

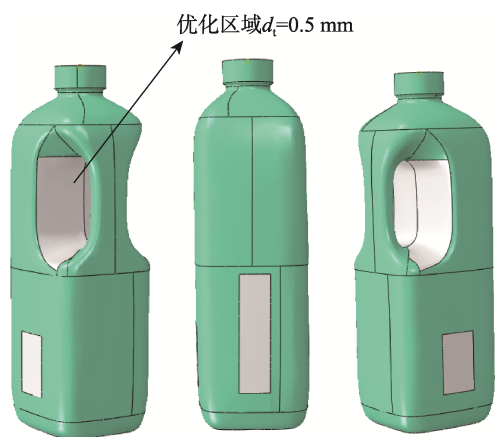


图11 改进的 HDPE 瓶壁厚分布
Fig.11 Wall thickness distribution of improved HDPE bottle

分别对最佳厚度比下总质量 m 不变的 HDPE 瓶 (Design-1), 以及在 Design-1 基础上划分拓扑优化区域的 HDPE 瓶 (Design-2) 进行顶部负载仿真分析, 并结合 2 种优化方案得到与初始 HDPE 瓶 (Design-0) 顶部负载强度相同的 HDPE 瓶 (Design-3)。仿真结果见表 1。

表 1 各种 HDPE 瓶临界载荷和质量
Tab.1 Critical load and mass of various HDPE bottles

HDPE 瓶	d_a/mm	d_b/mm	d_c/mm	$F_{\max}/\text{N}$	m/g
Design-0	1.54	1.10	1.05	635.22	117.67
Design-1	1.60	1.03	1.12	684.73	117.42
Design-2	1.60	1.03	1.12	676.60	110.05
Design-3	1.52	0.98	1.06	635.58	105.64

Design-1 瓶在总质量不变的前提下临界载荷增大了 50 N, 说明调整瓶体不同区域的厚度比可以有效改变 HDPE 瓶的抗顶压能力。Design-2 瓶的临界载荷较 Design-1 瓶的减少了 8 N, 但质量减少了 7.4 g, 证明了拓扑优化分析的有效性。综合 2 种方案轻量化设计的 Design-3 瓶在抗顶压能力不变的前提下减塑 12 g。

3 结语

通过 3D 扫描技术得到准确的牛奶包装 HDPE 瓶外观模型, 利用商业有限元软件 ABAQUS 建立 HDPE 瓶顶部负载有限元模型, 并通过静压实验验证有限元模型的准确性。分析 HDPE 瓶顶部负载的过程, 仿真分析瓶肩、把手和瓶身的厚度分布对 HDPE 瓶顶部负载能力的影响。数值仿真的结果可以得出以下结论:

- 1) 分段定义厚度的 HDPE 瓶有限元模型可以准确预测 HDPE 瓶顶部负载时的临界载荷和形变。
- 2) 顶部负载时, 瓶肩部分刚度最小, 瓶底厚度对 HDPE 瓶顶部负载能力无显著影响; 把手结构导致瓶身部分的应力集中, 瓶身部分最先崩溃。
- 3) 设计带有把手的 HDPE 瓶时, 应关注 HDPE 瓶各部分的厚度组成, 以获得更好的瓶体力学性能。

参考文献:

- [1] 杨祯妮, 祝文琪, 程广燕. 2021 年奶业市场形势回顾与 2022 年趋势研判[J]. 中国畜牧杂志, 2022, 58(5): 273-276.
YANG Zhen-ni, ZHU Wen-qi, CHENG Guang-yan. Review of Dairy Market Situation in 2021 and Trend Analysis in 2022[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2022, 58(5): 273-276.
- [2] HUANG H H, CHEN Li-wen, LU Wei-hua, et al. Design and Simulation Analysis of Lightweight HDPE Milk Bottle[J]. Polymers and Polymer Composites, 2018, 26(1): 91-98.
- [3] KEAWJAROEN P, SUVANJUMRAT C. A Master Shape of Bottles for Design under Desirable Geometry and Top Load Test[J]. MATEC Web of Conferences, 2017, 95: 02008.
- [4] 李强, 刘淑莲, 应光耀, 等. 考虑流固耦合作用的 PET 瓶跌落碰撞数值仿真[J]. 浙江大学学报(工学版), 2012(6): 980-986.
LI Qiang, LIU Shu-lian, YING Guang-yao, et al. Numerical Simulation for Drop Impact of PET Bottle Considering Fluid-Structure Interaction[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2012(6): 980-986.
- [5] HU Qing-chun, SHA Wen-jian, LI Yan-hui, et al. Structural Optimization and Lightweight Design of PET Bottle Based on ABAQUS[J]. Advanced Materials Research, 2011, 346: 558-563.
- [6] MASOOD S, KESHAVAMURTHY V. Development of Collapsible PET Water Fountain Bottles[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 162: 83-89.

- [7] DEMIREL B, DAVER F. The Effects on the Properties of PET Bottles of Changes to Bottle-Base Geometry[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2009, 114(6): 3811-3818.
- [8] 宋卫生, 李菲, 李自刚. 碳酸饮料瓶爪瓣式瓶底结构力学性能研究[J]. *包装工程*, 2018, 39(1): 35-39.
SONG Wei-sheng, LI Fei, LI Zi-gang. Mechanical Properties of the Petaloid Bottom Structure of Carbonated Beverage Bottle[J]. *Packaging Engineering*, 2018, 39(1): 35-39.
- [9] 承善, 陈登海, 江丙云, 等. 基于吹塑成型的 PET 塑料瓶强度分析[J]. *塑料工业*, 2018, 46(4): 76-79.
CHENG Shan, CHEN Deng-hai, JIANG Bing-yun, et al. Strength Analysis of PET Bottle Based on Blow Molding[J]. *China Plastics Industry*, 2018, 46(4): 76-79.
- [10] 胡青春, 陈境钰, 姜晓平, 等. 折线形 PET 瓶坯的结构设计与冷却研究[J]. *塑料工业*, 2020, 48(12): 101-104.
HU Qing-chun, CHEN Jing-yu, JIANG Xiao-ping, et al. Research on the Structure Design and Cooling of the Broken-Line PET Preform[J]. *China Plastics Industry*, 2020, 48(12): 101-104.
- [11] 刘良先, 冯志华, 呼春雪, 等. 基于正交试验的 PET 瓶拉伸吹塑优化设计[J]. *中国塑料*, 2020, 34(6): 73-79.
- LIU Liang-xian, FENG Zhi-hua, HU Chun-xue, et al. Optimization Design of PET Bottle Stretch Blow Molding Based on Orthogonal Test[J]. *China Plastics*, 2020, 34(6): 73-79.
- [12] WOO I Y, NAM K W, KIM B J, et al. Experimental and Computer Simulation of Stretch Blow Molding for Carbonated Soft Drink PET Bottle[J]. *Polymer-Korea*, 2022, 46(2): 257-265.
- [13] SIRIPATH N, THUSNEYAPAN S. Simplified Shear Relaxation Modulus Function of HDPE for FE Simulation in Extrusion Blowing Process[C]// 2nd International Conference on Composite Material, Polymer Science and Engineering, Osaka, 2019: 264.
- [14] NGUYEN T T, LUO Yun, CHEVALIER L, et al. Stochastic Simulation of Top Load Test on Poly(ethylene terephthalate) Bottles: An Experimental Study on Dispersion of Elastic Properties[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2021, 138(1): 1-16.
- [15] GB/T 1040—2018, 塑料—拉伸性能的测定[S].
GB/T 1040—2018, *Plastics-Determination of Tensile Properties*[S].
- [16] GB/T 13508—2011, 聚乙烯吹塑容器[S].
GB/T 13508—2011, *Polyethylene Blown Containers*[S].

责任编辑: 曾钰婵